

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-304766

(43)Date of publication of application : 28.10.2004

(51)Int. CI.

H03B 5/32

G01N 5/02

H03B 5/30

H03H 3/04

H03H 7/20

H03H 9/02

H03H 9/13

(21)Application number : 2004-  
013195

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

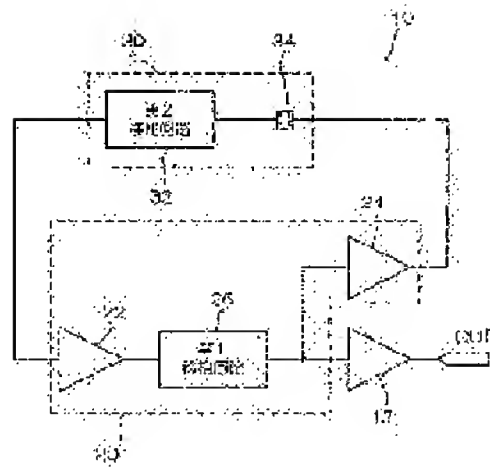
(22)Date of filing : 21.01.2004 (72)Inventor : KOBAYASHI SACHIHIRO

(30)Priority

Priority	2003072363	Priority	17.03.2003	Priority	JP
number :		date :		country :	

(54) OSCILLATION CIRCUIT, ADJUSTMENT METHOD THEREFOR, AND MASS MEASUREMENT APPARATUS USING THE SAME





10: OSCILLATION CIRCUIT  
20: AMPLIFIER CIRCUIT  
22: 1ST BUFFER  
24: 2ND BUFFER  
26: 1ST PHASE SHIFT CIRCUIT  
30: FEEDBACK CIRCUIT  
32: 2ND PHASE SHIFT CIRCUIT  
34: PIEZOELECTRIC VIBRATOR

#### (57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To surely generate oscillation inside a gas and inside a liquid.

SOLUTION: An oscillation circuit 10 forms a closed loop with an amplifier circuit 20 and a feedback circuit 30. The amplifier circuit 20 comprises a pair of amplifiers 22 and 24 working as the a buffers of the impedance, and a first phase shift circuit 26. The feedback circuit 30 is constituted of a second phase shift circuit 32 and a piezoelectric vibrator 34. The second phase shift circuit 32 can adjust the phase shift and the gain of the feedback circuit 30. The first phase-shift circuit 26 of the amplifying circuit 20, set between the amplification circuits 22 and 24, is separated from the second phase shift circuit 32 in impedance, and can adjust the phase shift of the closed loop as a whole.

---

#### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 21.01.2004

[Date of sending the examiner's  
decision of rejection]

[Kind of final disposal of  
application other than the  
examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for  
application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]



[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998, 2003 Japan Patent Office

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may  
not reflect the original precisely.

2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]

Two or more amplifier which served as the buffer of an impedance,  
It connects among these amplifier and is the 1st phase-shifting circuit  
which can adjust the phase of an oscillation loop formation,  
The feedback circuit connected to the input terminal of said amplifier  
to which the input side was connected to the output terminal of said  
amplifier which connected the output side of said 1st phase-shifting  
circuit, and the output side connected the input side of said 1st phase-  
shifting circuit,  
The 2nd phase-shifting circuit which can adjust the phase and gain of an  
oscillation loop formation in said feedback circuit, and the  
piezoelectric transducer connected to said 2nd phase circuit and serial,  
The oscillator circuit characterized by \*\*\*\*(ing).

[Claim 2]

In an oscillator circuit according to claim 1,  
Said 2nd phase-shifting circuit is an oscillator circuit characterized  
by having the tank circuit which resonates in the oscillation frequency  
of a piezoelectric transducer.

[Claim 3]

In an oscillator circuit according to claim 1 or 2,  
At least one side of said 1st phase-shifting circuit and said 2nd phase-  
shifting circuit is an oscillator circuit characterized by consisting of  
an armature-voltage control phase-shifting circuit which can adjust the  
phase of said oscillation loop formation based on the control voltage  
from the outside.

[Claim 4]



In an oscillator circuit according to claim 1 to 3,  
Said amplifier is an oscillator circuit characterized by being the differential amplifier which has an inversed input terminal, a non-inversed input terminal and a reversal output terminal, and a noninverting output terminal.

[Claim 5]

In an oscillator circuit according to claim 4,  
Said differential amplifier is an oscillator circuit characterized by being an emitter coupled logic circuit.

[Claim 6]

In an oscillator circuit according to claim 1 to 5,  
Said piezoelectric transducer is an oscillator circuit characterized by being either an AT cut quartz resonator, a reverse mesa mold AT cut quartz resonator or SAW vibrator.

[Claim 7]

It is the adjustment approach of an oscillator circuit according to claim 1 to 6,

The gain and the phase operation process of asking for the gain and the phase of an oscillation loop formation in the oscillation frequency of said oscillator circuit about each when the circuit property of said oscillator circuit is measured and said piezoelectric transducer has been arranged in a gaseous phase and the liquid phase,

The 1st phase adjustment process to which a phase adjusts phase conditions by 0 in the higher frequency range which it is not near the frequency of a principal vibration about each when the circuit constant of said 1st phase-shifting circuit of said oscillator circuit is changed and said piezoelectric transducer has been arranged in a gaseous phase and the liquid phase so that gain may become one or less,

The 2nd phase adjustment process which is near said oscillation frequency and adjusts the phase of said oscillator circuit within the limits of the frequency from which a phase changes a lot at about 0 times about each when the circuit constant of said 2nd phase-shifting circuit of said oscillator circuit is changed and said piezoelectric transducer has been arranged in a gaseous phase and the liquid phase,  
The gain control process which adjusts the gain of the oscillation loop formation of said oscillator circuit to one or more about each when the circuit constant of said 2nd phase-shifting circuit of said oscillator circuit is changed and said piezoelectric transducer has been arranged in a gaseous phase and the liquid phase,

The adjustment approach of the oscillator circuit characterized by  
\*\*\*\*(ing).



[Claim 8]

In the adjustment approach of an oscillator circuit according to claim 7, Said gain control process is the adjustment approach of the oscillator circuit characterized by making negative resistance into 3 or more times of the impedance of said piezoelectric transducer.

[Claim 9]

In the adjustment approach of an oscillator circuit according to claim 7 or 8,

Said each process is the adjustment approach of the oscillator circuit characterized by making said oscillator circuit open-loop and performing it.

[Claim 10]

The mass measuring device characterized by having an oscillator circuit according to claim 1 to 6.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[Field of the Invention]

[0001]

This invention relates to the mass measuring device which used it for a suitable oscillator circuit to oscillate the piezoelectric transducer which is built over the oscillator circuit for piezoelectric transducers especially, which is immersed into a liquid, and its adjustment approach list.

[Background of the Invention]

[0002]

In recent years, the quartz-resonator microbalance (Quartz Crystal Microbalance:QCM) called the microbalance using the quartz resonator



which is a piezoelectric transducer attracts attention. This QCM will use that an oscillation frequency falls, if the matter adheres to the electrode of a quartz resonator. And QCM has been applied to detection of the minute amount matter in large fields, such as medicine, biochemistry, food, and environmental measurement, from the place which can detect the mass below a nanogram (ng) as a biosensor, a chemical sensor, etc.

[0003]

For example, when using a quartz resonator as a mass measuring device, a quartz resonator may be immersed and used into a liquid. At this time, in air and a liquid, the effectual crystal impedance (it is hereafter written as "CI value") of a quartz resonator changes a lot, and CI value in a liquid becomes larger about 10 to 30 times than CI value in air. Since it becomes difficult to oscillate a quartz resonator so that CI value is large, even if it uses the circuit conditions which oscillate a quartz resonator in air, it becomes difficult to oscillate a quartz resonator in a liquid. Then, it enabled it to oscillate a quartz resonator also in a liquid by raising the amplification degree of an oscillator circuit conventionally (for example, patent reference 1). Moreover, the oscillator circuit which oscillates two or more quartz resonators with which fundamental frequency differs using the inverter which consists of a high speed CMOS by the same circuit is proposed (patent reference 2). However, only actuation in a gaseous phase is suggested by the patent reference 2.

[0004]

[Patent reference 1] JP,11-163633,A (the paragraph number 0004, drawing 1 )

[Patent reference 2] JP,2001-289765,A (paragraph number 0015)

[Description of the Invention]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

[0005]

An oscillator circuit may be oscillated on the frequency which is not the resonance frequency of vibrator even if it goes without going via vibrator if the oscillating condition of an oscillation loop formation is satisfied since it is the feedback circuit which forms an oscillation loop formation. For this reason, when amplification degree is enlarged like the patent reference 1, there is a problem such an unnecessary oscillation becomes easy to set. Moreover, an oscillator circuit is electrically connected to various circuits, when included in a actual circuit. For this reason, when amplification degree of an oscillator circuit is enlarged, it is difficult to obtain the oscillation



stabilized only by producing an oscillation in the various circuits which are not equipped with vibrator, and increasing only amplification degree.

[0006]

CI value change of a piezoelectric transducer to the frequency in air and said CI value change in a liquid are shown in drawing 20 . Although CI value of the piezoelectric transducer oscillated by 148.25MHz in air is about 20ohms, CI value at the time of oscillating said piezoelectric transducer by 148.25MHz in a liquid is set to about 300 ohms. Therefore, even if it is going to oscillate a piezoelectric transducer in a liquid using the circuit which applied the technique of the patent reference 2 and was oscillated in air, it is difficult to oscillate.

[0007]

Moreover, change of the phase of the piezoelectric transducer to the frequency in air and change of said phase in a liquid are shown in drawing 21 . Said piezoelectric transducer changes [ be / it / under / air / setting ] rapidly [ a phase ] from -90 degrees +90 degrees in about 148.25MHz. On the other hand, it also sets in a liquid not only in about 148.25MHz but in the frequency range from 147.8MHz to 148.6MHz, and a phase is [ about ]. -From 90 degrees to about -It is 50 degrees and there is no rapid phase change. For this reason, by the patent reference 2, the inverter constitutes the amplifier and the phase in the output side of an amplifier always differs from the phase of an input side 180 degrees. If it puts in another way, the phase in the output side of amplifier and the phase of the input side of amplifier cannot be made into equiphase.

[0008]

This invention was made in order to cancel the fault of said conventional technique, and it aims at enabling it to oscillate certainly in a gas and a liquid.

[0009]

Moreover, this invention aims at enabling it to prevent certainly the unnecessary oscillation of parasitic oscillation, a spurious oscillation, a feedback oscillation, etc., etc.

[Means for Solving the Problem]

[0010]

Drawing 22 is the circuitry block diagram of an oscillator circuit. The oscillator circuit consists of an amplifying circuit and a feedback circuit, as shown in drawing 22 . If the oscillating condition of an oscillator circuit sets the feedback ratio of A and a feedback circuit to beta for the gain (gain) of an amplifying circuit,



[0011]

[Equation 1]

$$\text{Re} (A \beta) \geq 1 \quad (\text{電力条件})$$

[0012]

[Equation 2]

$$\text{Im} (A \beta) = 0 \quad (\text{周波数条件})$$

[0013]

It comes out.  $\text{Re} (A\beta)$  and  $\text{Im} (A\beta)$  are the real part and imaginary part of complex amount  $A\beta$  here.

Thus, in order for an oscillator circuit to oscillate, it is also required for making or more into one amplification degree which is power conditions, and coincidence to make the phase of an oscillation loop formation into 0 times. Then, it was made for an artificer to satisfy the phase conditions which are one of the oscillating conditions as effect to the gain of a feedback circuit (feedback loop) is made into min by establishing a phase circuit in an amplifying circuit and a feedback circuit, and adjusting the phase of the whole loop formation by the phase circuit in an amplifying circuit.

[0014]

Namely, two or more amplifier with which the oscillator circuit concerning this invention served as the buffer of an impedance, It connects among these amplifier. The 1st phase-shifting circuit which can adjust the phase of an oscillation loop formation, The feedback circuit connected to the input terminal of said amplifier to which the input side was connected to the output terminal of said amplifier which connected the output side of said 1st phase-shifting circuit, and the output side connected the input side of said 1st phase-shifting circuit, Into said feedback circuit, it is characterized by having the 2nd phase-shifting circuit which can adjust the phase and gain of an oscillation loop formation, and the piezoelectric transducer connected to said 2nd phase circuit and serial.



[0015]

This invention which is such adjusts the amount of phase shifts of the whole oscillation loop formation to a suitable value by the 1st phase-shifting circuit in order to reconcile the phase conditions of an oscillation and the gain conditions of an oscillation loop formation in gases, such as air, and a liquid. Moreover, an oscillation loop gain is acquired, and the reactance of the 2nd phase-shifting circuit established in the feedback circuit is adjusted so that the phase conditions for the stable oscillation may be acquired. And since it is separated in impedance with the 2nd phase-shifting circuit by the amplifier which has the buffer ability by impedance conversion, the 1st phase-shifting circuit can adjust the phase of the whole closed loop almost uninfluential in the gain property of a feedback circuit. The phase conditions and gain conditions of an oscillator circuit can be fulfilled so that it can be stabilized easily and certainly and a piezoelectric transducer can be oscillated in air and a liquid by this.

[0016]

A phase-shifting circuit can have the tank circuit which resonates in the oscillation frequency of vibrator. Thereby, even if it raises the amplification degree of an oscillation loop formation, the unnecessary oscillation of parasitic oscillation, a spurious oscillation, a feedback oscillation, etc., etc. can be prevented. That is, when the frequency to input is the resonance frequency of a tank circuit, a tank circuit will carry out impedance lowering, if the impedance seen from the closed-loop side increases quickly and the frequency to input shifts from resonance frequency. For this reason, by making the resonance frequency of a tank circuit mostly in agreement with the oscillation frequency of a piezoelectric transducer, the amplification degree of the closed loop in frequencies other than the oscillation frequency of a piezoelectric transducer can fall, and the unnecessary oscillation of parasitic oscillation, a spurious oscillation, a feedback oscillation, etc. can be avoided.

[0017]

Based on the control voltage from the outside, the armature-voltage control phase-shifting circuit which can adjust the phase of an oscillation loop formation can constitute at least one side of the 1st phase-shifting circuit and the 2nd phase-shifting circuit. The impedance characteristic of the piezoelectric transducer in a liquid changes with the wettability of a liquid to the condition of a liquid, and a piezoelectric transducer, the contact condition of the liquid on the front face of a piezoelectric transducer, etc. Then, by making a phase-



shifting circuit into an armature-voltage control phase-shifting circuit, an oscillator circuit can be tuned finely and the actuation in the liquid of an oscillator circuit can be stabilized.

[0018]

Moreover, amplifier may be differential amplifier which has an inversed input terminal, a non-inversed input terminal and a reversal output terminal, and a noninverting output terminal. An emitter coupled logic circuit can be used for this differential amplifier. And a piezoelectric transducer may be either an AT cut quartz resonator, a reverse mesa mold AT cut quartz resonator or SAW (Surface Acoustic Wave) vibrator.

[0019]

And the adjustment approach of the above-mentioned oscillator circuit concerning this invention The gain and the phase operation process of asking for the gain and the phase of an oscillation loop formation in the oscillation frequency of said oscillator circuit about each when the circuit property of said oscillator circuit is measured and said piezoelectric transducer has been arranged in a gaseous phase and the liquid phase, About each when the circuit constant of said 1st phase-shifting circuit of said oscillator circuit is changed and said piezoelectric transducer has been arranged in a gaseous phase and the liquid phase The 1st phase adjustment process which is near [ said ] the oscillation frequency and performs coarse control of the phase adjustment which sets an oscillation loop-formation phase to about 0, About each when the circuit constant of said 2nd phase-shifting circuit of said oscillator circuit is changed and said piezoelectric transducer has been arranged in a gaseous phase and the liquid phase the phase adjustment process which is near said oscillation frequency and sets an oscillation loop-formation phase to 0 near the resonance frequency of vibrator -- and it is characterized by having the adjustment process adjusted so that the gain control process which adjusts the gain of an oscillation loop formation to one or more may be compatible.

[0020]

As for a gain control process, it is desirable to make negative resistance into 3 or more times of the impedance of a piezoelectric transducer. Thereby, a piezoelectric transducer can be oscillated certainly. Moreover, each process which adjusts an oscillator circuit is good to make an oscillator circuit open-loop and to perform it. Thereby, an oscillator circuit can be adjusted easily.

[0021]

And the mass measuring device concerning this invention is characterized by having the above-mentioned oscillator circuit. The mass measuring



device which this stabilizes and oscillates by both with the inside of the above-mentioned gas and a liquid can be obtained, and reliable QCM etc. can be formed.

[Best Mode of Carrying Out the Invention]

[0022]

The best gestalt of the mass measuring device which used it for the oscillator circuit concerning this invention and its adjustment approach list is explained to a detail according to an accompanying drawing.

[0023]

Drawing 1 is the block diagram of the oscillator circuit for piezoelectric transducers concerning the 1st operation gestalt. In drawing 1, an oscillator circuit 10 has an amplifying circuit 20 and a feedback circuit 30. The amplifying circuit 20 consists of two or more amplifier 22 and 24 which served as the buffer of an impedance, and the 1st phase-shifting circuit 26. The 1st phase-shifting circuit 26 is arranged between amplifier 22 and 24, the input side is connected to the output terminal of amplifier 22, and the output side is connected to the input terminal of amplifier 24.

[0024]

Moreover, the feedback circuit 30 consists of the 2nd phase-shifting circuit 32 and a piezoelectric transducer 34 linked to the input side of this 2nd phase-shifting circuit 32. The input side is connected to the output terminal of amplifier 24 through the piezoelectric transducer 34, and, as for the 2nd phase-shifting circuit 32, the output side is connected to the input terminal of amplifier 22. Therefore, the oscillator circuit 10 forms the closed loop by the amplifying circuit 20 and the feedback circuit 30. And the buffer 12 for an output is connected to amplifier 24 and juxtaposition at the output side of the 1st phase-shifting circuit 26 of an amplifying circuit 20.

[0025]

In addition, a piezoelectric transducer 34 may be connected to the output side of the 2nd phase-shifting circuit 32, i.e., the input side of amplifier 22. Moreover, two or more phase circuit elements may constitute the 2nd phase-shifting circuit 32, and a piezoelectric transducer 34 may be installed into it. And the buffer 12 for an output may be connected to the output side of an amplifying circuit 20, i.e., the output terminal of amplifier 24.

[0026]

The amplifying circuit which used the transistor, an operational amplifier (operational amplifier), the differential amplifier, an emitter coupled logic circuit (Emitter Coupled Logic:ECL), positive ECL



(PECL), etc. can constitute the amplifiers 22 and 24 which served as the buffer of an impedance. And as a piezoelectric transducer 34, you may be a quartz resonator and LBO (Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>: 4 boron acid lithium) vibrator. Moreover, piezoelectric transducers 34 may be AT cut vibrator, BT cut vibrator, GT cut vibrator, SC cut vibrator, a crystal filter and SAW vibrator, and an SAW filter. Next, the equal circuit and the example of a configuration of the 1st phase-shifting circuit 26 and the 2nd phase-shifting circuit 32 are explained.

The equal circuit of the 2nd phase-shifting circuit 32 can also constitute the equal circuit of the 1st phase-shifting circuit 26 from the late phase circuit or resonance circuit which delays the phase leading circuit or phase which advances a phase. For example, drawing 2 (1) - (3) is drawing showing an example of a phase leading circuit. Drawing 3 (1) - (3) is drawing showing an example of a late phase circuit. Moreover, drawing 4 (1) is drawing showing an example of a series resonant circuit, and drawing 4 (2) is a parallel resonant circuit. Furthermore, drawing 5 is the reactance control circuit of the armature-voltage control mold which used variable capacitance diode 40. Thus, the equal circuit of the 1st phase-shifting circuit 26 or the equal circuit of the 2nd phase-shifting circuit 32 can consist of drawing 2 in one circuit of the circuits shown by drawing 5 .

[0027]

Drawing 6 is the example of a concrete configuration of the 1st phase-shifting circuit 26, or the example of a concrete configuration of the 2nd phase-shifting circuit 32. Drawing 6 (1) is the example constituted with the amplifier 200 linked to a serial. Here, with [ amplifier 200 ] one [ or more ], it is good without limit. Drawing 6 (2) is the example constituted by the delay element. Distributed constant components, such as variable capacitance diode and a thermistor, can constitute a delay element. Drawing 6 (3) is the example which constituted the 1st phase-shifting circuit 26 or the 2nd phase-shifting circuit 32 from a line. As a line, it can constitute from the strip line, a microstrip line, etc.

[0028]

Thus, in the oscillator circuit 10 of the constituted 1st operation gestalt, a loop-formation phase and a loop gain can be independently adjusted so that the oscillating condition in both with the inside of the air of a piezoelectric transducer 34 and a liquid may be realized. Thereby, the oscillator circuit 10 of the 1st operation gestalt can oscillate a piezoelectric transducer 34 certainly in air and a liquid (inside of a gas). Moreover, the oscillation stabilized also to the property of various liquids can be obtained. Therefore, reliable mass



measuring devices, such as a chemical sensor, a biosensor, and QCM, can be easily formed by using an oscillator circuit 10.

[0029]

Drawing 7 is the block diagram of the oscillator circuit for piezoelectric transducers concerning the 2nd operation gestalt. In drawing 7, the closed loop is formed of the 2nd phase-shifting circuit 52 where the oscillator circuit 50 constitutes the amplifying circuit 20 and the feedback circuit. The 2nd phase-shifting circuit 52 has the phase-shifting circuit section 54, the piezoelectric transducer 34, and the tank circuit 56. However, a piezoelectric transducer 34 may be arranged to the input side of the 2nd phase-shifting circuit 52.

[0030]

The phase-shifting circuit section 54 can be constituted like the 1st above mentioned phase-shifting circuit 26 and the 2nd above mentioned phase-shifting circuit 32. And the input side of the phase-shifting circuit section 54 is connected to the output terminal of the amplifier 24 which constitutes the amplifying circuit 20. Moreover, one electrode of a piezoelectric transducer 34 is connected to the output side of the phase-shifting circuit section 54. The electrode of another side of a piezoelectric transducer 34 is connected to the input terminal of the amplifier 22 which constitutes the amplifying circuit 20. And the tank circuit 56 consists of a parallel resonant circuit of a capacitive element and an induction component, and the end is connected between the piezoelectric transducer 34 and the input terminal of amplifier 22. The other end of a tank circuit 56 is grounded through the capacitor 58. This tank circuit 56 is adjusted so that it may resonate on the frequency defined beforehand, i.e., the oscillation frequency of a piezoelectric transducer 34. A capacitor 58 floats in direct current and grounds a tank circuit 56.

[0031]

In the 2nd operation gestalt, drawing 23 is what constituted the phase circuit section 54 of the 1st phase-shifting circuit 26 and the 2nd phase-shifting circuit 52 by the armature-voltage control phase-shifting circuit, and has the reactance control circuit of an armature-voltage control mold. Thereby, when immersed into a liquid, it does not depend, but it can be stabilized in the class of liquid and it can be made to oscillate a piezoelectric transducer 34. That is, the impedance characteristic of the piezoelectric transducer in a liquid changes with the wettability of a liquid to the condition of a liquid, and a piezoelectric transducer, the contact condition of the liquid on the front face of a piezoelectric transducer, etc. Then, the circuit



constant of an oscillator circuit 50 can be finely tuned by preparing the reactance control circuit of an armature-voltage control mold for a phase circuit like drawing 23 . For this reason, it can be possible to stabilize the actuation in the liquid of an oscillator circuit 50, a piezoelectric transducer 34 can be stabilized certainly, and it can be made to oscillate. In addition, of course, the 1st phase-shifting circuit 26 and the 2nd phase-shifting circuit 32 of the 1st operation gestalt may be constituted so that it may have the reactance control circuit of an armature-voltage control mold.

[0032]

Drawing 8 shows the concrete example of the oscillator circuit 50 concerning the 2nd operation gestalt. In drawing 8 , the reactance control circuit of the armature-voltage control mold which used variable capacitance diode, and the coil of a phase shift circuit element and the capacitor for a direct-current cut constitute the 1st phase-shifting circuit 26 and the 2nd phase-shifting circuit 32. In addition, it has connected with the output terminal of the amplifier 24 with which the buffer 12 for an output serves as an output terminal of an amplifying circuit 20 in this example.

[0033]

The 1st phase-shifting circuit 26 of an amplifying circuit 20 consists of variable capacitance diode 60, two coupling capacitors 62 and 64 which cut a dc component, a coil 66 which is a phase shift component, and two resistance 68 and 70. That is, the 1st phase-shifting circuit 26 is grounded through resistance 68 while having connected the anode of variable capacitance diode 60 to the output terminal of amplifier 22 through the coupling capacitor 62. Moreover, while the cathode of variable capacitance diode 60 is connected to the input terminal of control voltage VC 1 inputted from the outside through resistance 70, the end of a coil 66 is connected. The other end of this coil 66 is connected to the input terminal of amplifier 24 through the coupling capacitor 64. Thus, variable capacitance diode 60 and two resistance 68 and 70 constitute the reactance control circuit of an armature-voltage control mold.

[0034]

On the other hand, the 2nd phase-shifting circuit 32 has variable capacitance diode 74, two coupling capacitors 76 and 78 which cut a dc component, the coil 80 which is a phase shift component, and two resistance 82 and 84. The anode of variable capacitance diode 74 is grounded through resistance 82 while having connected with the end of a coupling capacitor 76. The other end of a coupling capacitor 76 is



connected to the end of a coil 80. The other end of this coil 80 is connected to one electrode of a piezoelectric transducer 34. Moreover, the cathode of variable capacitance diode 74 is connected to the input terminal of control voltage inputted from the outside through resistance 84 while having connected with the end of a coupling capacitor 78. And the other end of a coupling capacitor 78 is connected to the output terminal of amplifier 24. Thus, variable capacitance diode 74 and two resistance 82 and 84 constitute the reactance control circuit of an armature-voltage control mold.

[0035]

The electrode of a piezoelectric transducer 34 is connected to the input terminal of amplifier 22 through the coupling capacitor 86 and the tank circuit 56. The tank circuit 56 is the parallel resonant circuit which carried out parallel connection of the resistance 88 for adjusting the Q value of a tank circuit 56, a capacitor 90, and the coil 92. In addition, in order that a tank circuit 56 may prevent generating of an unnecessary oscillation in the case of an operation gestalt, the inductance of a coil 92 and the capacity of a capacitor 90 are set up so that the range of resonance frequency may become narrower.

[0036]

Next, the effect on the gain over the phase change to a frequency and frequency of the circuit to which a phase is changed is explained.

[0037]

Drawing 9 is only the 2nd phase-shifting circuit 32, and is drawing showing the condition of having changed the variation of a phase. after [ said ] adjusting an oscillator circuit 50 so that a piezoelectric transducer 34 may be oscillated in air as carried out, if immersed into a liquid, an impedance's increasing, simultaneously the phase of a piezoelectric transducer 34 can seldom change, and cannot oscillate a piezoelectric transducer 34. Then, if the amount of phases of a feedback circuit is changed, it will become like drawing 9 only in the 2nd phase-shifting circuit 32, so that a piezoelectric transducer 34 may oscillate also in a liquid. For example, if the inductance of the coil 80 which constitutes the 2nd phase-shifting circuit 32 is adjusted and the phase of a feedback circuit is delayed, change of a phase will become large like Curve A to Curve B, Curve C, Curve D, and Curve E. When the phase of a feedback circuit is delayed, the width of face of the frequency from which a phase changes will spread. For this reason, it comes to oscillate also in the frequency which is separated from the oscillation frequency of a piezoelectric transducer 34. Therefore, the current which flows to a piezoelectric transducer 34 becomes small, and the stability



of the frequency currently oscillated gets worse. That is, when it is used for the equipment which measures very small mass, a S/N ratio worsens and the accuracy of measurement falls.

[0038]

Drawing 10 is only the 2nd phase-shifting circuit 32, and is drawing showing change of the gain when changing a phase. If variation of a phase is enlarged by the 2nd phase circuit 32, in order that the impedance of a feedback circuit may also change, the gain of a feedback circuit also becomes large. For this reason, an unnecessary oscillation becomes easy to be generated and is not desirable. That is, if the coil for phase adjustment is used in order to enlarge change of a phase, the frequency which starts series resonance with the interelectrode capacity C0 and the coil for phase adjustment of a piezoelectric transducer 34 will occur. And the gain in this frequency may become larger than 1, when the gain of the whole oscillator circuit becomes large. In this case, since the coil for phase adjustment, the interelectrode capacity C0, and series resonance which are not mechanical vibration have the short start time of an oscillation, they may start an oscillation earlier than the oscillation of a piezoelectric transducer 34. Moreover, if the coil for phase adjustment with a big inductance is used in order to enlarge change of a phase, this coil, interelectrode capacity C0, and series resonating frequency will become low, and will become close to the oscillation frequency of a piezoelectric transducer 34. Therefore, before the gain of the series resonant circuit of the coil for phase adjustment and interelectrode capacity C0 becomes easy to become large and a piezoelectric transducer 34 oscillates, the series resonance by the coil for phase adjustment and interelectrode capacity C0 occurs. In addition, change of the phase shown in drawing 9 has doubled the phase in the frequency which is separated from resonance frequency to some extent as 0 times, in order to make a comparison easy.

[0039]

In order to cancel such nonconformity, he is trying for the oscillator circuit 10 and oscillator circuit 50 of this invention to adjust the phase of the whole loop formation of an oscillator circuit 50 with the amplifier 22 and 24 which served as the buffer of an impedance by the 2nd phase-shifting circuit 32 and the 1st phase-shifting circuit 26 made to separate in impedance. That is, there is a limitation in adjusting a phase so that a piezoelectric transducer 34 can oscillate in mind and liquid by the 2nd phase-shifting circuit 32 established in the feedback circuit. Then, the whole phase shift conditions are moved to the place of a suitable frequency by the 1st phase-shifting circuit 26 established



in the amplifying circuit 20. And the gain in a predetermined oscillation frequency is acquired by the 2nd phase-shifting circuit 26, and a phase is adjusted to 0 times. Thereby, when it is used for a measuring device, the good equipment of a S/N ratio can be obtained. Moreover, generating of an unnecessary oscillation can be prevented.

[0040]

Drawing 11 shows the phase change of the whole loop formation of the oscillator circuit 10 or oscillator circuit 50 by the 1st phase-shifting circuit 26. Even if it adjusts the reactance of the 1st phase-shifting circuit 26 and enlarges variation of a phase as shown in this drawing, the width of face of the frequency from which a phase changes does not spread. Therefore, the phase conditions of an oscillation of an oscillator circuit 50 can be fulfilled, attaining stabilization of the frequency which did not produce the oscillation in the frequency which is separated from the oscillation frequency of a piezoelectric transducer 34, and is oscillated, though the phase was changed by the 1st phase-shifting circuit 26. And when changing a phase by the 1st phase-shifting circuit 26, it can avoid producing change on the gain of a feedback loop. For this reason, the phase conditions of the whole oscillation loop formation can be moved to the place of a suitable frequency by the 1st phase-shifting circuit 26. This becomes possible to adjust the phase conditions of an oscillation easily into air and a liquid by the 2nd phase-shifting circuit 52. Therefore, in air and a liquid, it can be stabilized and a piezoelectric transducer 34 can be oscillated.

[0041]

Moreover, it not only can prevent the series resonance of the interelectrode capacity  $C_0$  of a piezoelectric transducer 34, and a coil, but in the oscillator circuit 50 of the 2nd operation gestalt, it can prevent the unnecessary oscillation which is not desirable as for parasitic oscillation, the spurious oscillation of a piezoelectric transducer 34, the feedback oscillation on a circuit, etc. by having established the tank circuit 56 in the 2nd phase-shifting circuit 52. That is, the gain of a closed loop which consists of an amplifying circuit 20 and the 2nd phase-shifting circuit 52 changes with tank circuits 56 like drawing 12. If a tank circuit 56 resonates with resonance frequency when a tank circuit 56 is seen from the loop-formation side of an oscillator circuit 50 at this time, the impedance of a tank circuit 56 will become very large. For this reason, loss of the gain by the tank circuit 56 of a closed loop is 0. However, if the AC signal inputted into a tank circuit 56 shifts from the resonance



state, the impedance of the tank circuit 56 seen from the closed-loop side falls rapidly, from resonance frequency, the AC signal (current) shifted will flow to the earth side through a capacitor 58, and the gain of a closed loop will fall. Therefore, by making the resonance frequency of a tank circuit 56 in agreement with the oscillation frequency of a piezoelectric transducer 34, the gain of the closed loop in frequencies other than an oscillation frequency can fall, and an unnecessary oscillation can be controlled.

[0042]

Drawing 13 is a flow chart which shows the adjustment approach for oscillating a piezoelectric transducer 34 in air and a liquid by the oscillator circuit 50. In addition, after adjusting drawing 13 in air first, it shows the procedure which adjusts a piezoelectric transducer 34 in the condition of having been immersed into the liquid, and is adjusted so that it may oscillate certainly in both.

[0043]

First, a part of closed loop of an oscillator circuit 50 is opened, and it is made open-loop. For example, between the tank circuit 56 of an oscillator circuit 50 and amplifying circuits 20 is separated, it is made open-loop, and measuring instruments, such as a network analyzer, are connected to this separated part. And with a measuring instrument, an open-loop circuit property is measured and open-loop gain and a phase are computed (step 100). That is, a piezoelectric transducer 34 is excited in mind and liquid in the state of open-loop, and each exciting frequency is measured. And the gain and the phase operation process of asking for change of gain and change of a phase are performed. [ / near the frequency of the request which you want to oscillate ] In order to double calculation of the gain in open-loop [ this ], and a phase with the phase when considering as a closed loop, it amends in consideration of a difference of the impedance in open-loop and a closed loop.

[0044]

Drawing 14 shows an example which made the oscillator circuit open-loop and measured change of a phase. In this drawing, an oscillator circuit may oscillate in the frequency to which the curve of a phase change intersects 0 times. Then, next, as shown in step 102, it judges whether the phase conditions 1 are satisfied. This phase condition 1 is near the resonance (oscillation) frequency (principal vibration) of a piezoelectric transducer 34, and in each when oscillating a piezoelectric transducer 34 the inside of mind and liquid, by 0, a phase adjusts phase conditions in a frequency range higher than the frequency of a principal vibration instead of near the frequency of a principal



vibration so that gain may become one or less. When the phase conditions 1 are not satisfied, it progresses to step 104 and the 1st phase shift adjustment process is performed. This 1st phase shift adjustment process computes the amount of phases by the 1st phase-shifting circuit 26, and when it is made a closed loop, it changes the circuit constant of the 1st phase-shifting circuit 26 in the state of open-loop [ of an oscillator circuit ] so that the phase conditions 1 may be fulfilled. For example, impedances, such as the coil 66 shown in drawing 8 or capacity 64, are changed. Thereby, as shown in the arrow head 115 of drawing 14, the curve which shows change of a phase moves in the vertical direction, and becomes possible [ adjusting the phase in a desired frequency ]. And it returns to step 100, an open-loop circuit property is measured again, and it judges whether the phase conditions 1 were fulfilled (step 102).

[0045]

When the phase conditions 1 are fulfilled, it judges whether it progresses to step 106 from step 102, and the phase conditions 2 are fulfilled. This phase condition 2 is that the phase is about 0 times on the frequency which asks for a piezoelectric transducer 34 in the frequency range where the phase near the resonance frequency of a piezoelectric transducer 34 changes a lot in each at the time of making it oscillate the inside of mind and liquid. When this phase condition 2 is not satisfied, the 2nd phase shift adjustment process is performed. That is, the amount of phases of the 2nd phase-shifting circuit 52 is computed, and where an oscillator circuit is made open-loop, the circuit constant of the 2nd phase-shifting circuit 52 is changed so that the phase shift conditions 2 may be satisfied at the time of a closed loop (step 108). That is, the inductance of the coil 80 of the phase-shifting circuit section 54 shown, for example in drawing 8 is changed. And return, step 100 - step 106 are processed to step 100.

[0046]

If the phase conditions 2 are satisfied in step 106, it will judge whether the gain conditions 2 are satisfied (step 110). The gain conditions 2 are that the gain of a closed loop has become one or more in the condition of having satisfied the phase conditions 1 and the phase conditions 2. And when the gain conditions 2 are not satisfied in step 110, after processing step 108 which is a gain control process, it returns to step 100 and step 100 - step 110 are processed again. In order to secure the soundness of an oscillation of a piezoelectric transducer 34, it is made for negative resistance to become about 3 or more times of the impedance of a piezoelectric transducer 34 in



adjustment of this gain. If the gain conditions 2 are satisfied in step 112, it will progress to step 112 from step 110, and actuation will be checked. That is, an oscillator circuit 50 is made into a closed loop, and oscillation actuation is actually carried out in air and a liquid. Thereby, a piezoelectric transducer 34 can be certainly oscillated in air and a liquid. Therefore, a reliable mass measuring device can be obtained by using the oscillator circuit of an operation gestalt. Drawing 24 shows the condition of the oscillation in liquid the inside of the mind when doing in this way and adjusting an oscillator circuit. [0047]

in addition, when immersed into a liquid, a property boils a piezoelectric transducer 34 variously and it changes with classes, conditions, etc. of a liquid. Then, by using the reactance control circuit of voltage adjustment for a phase-shifting circuit, it is stabilized easily, a piezoelectric transducer 34 can be oscillated, and an oscillation frequency can be stabilized. For example, as shown in drawing 25, resistance 70 and 84 prepared between the cathode of variable capacitance diodes 60 and 74 and the volt input terminal is made into variable resistance. In addition, the resistance 202 and 204 which connected the cathode of variable capacitance diodes 60 and 74 is resistance for dividing control voltage  $V_{c1}$  and  $V_{c2}$ . And a value with the control voltage  $V_{c1}$  and  $V_{c2}$  when adjusting an oscillator circuit, for example and the resistance of variable resistance 70 and 84 are set up as initial voltage. And it is variable resistance so that it may correspond to property change in a liquid, when a piezoelectric transducer 34 is immersed in the liquid of arbitration. The set point is adjusted for the resistance of 70 and 84 as a core. Thereby, oscillation actuation in the liquid of arbitration is stabilized, and when it is used for a measuring device, the good measuring device of S/N can be obtained.

In addition, the 1st phase-shifting circuit 26 may carry out the series connection of two or more amplifiers, may constitute them, and may be a time delay circuit by the delay element, the delay line, etc. Moreover, three or more are sufficient as the amplifier which served as the buffer of an impedance.

[0048]

Drawing 15 is the block diagram of the oscillator circuit concerning the 3rd operation gestalt, and shows the example which constituted the 1st phase-shifting circuit 26 with two or more amplifier. The 1st phase-shifting circuit 26 which established the oscillator circuit 120 of this operation gestalt in the amplifying circuit 20 is formed with two



amplifier 122 and 124. These amplifiers 122 and 124 may be an amplifying circuit with a transistor, an operational amplifier, the differential amplifier, ECL, PECL, etc. like amplifiers 22 and 24. And as for the oscillator circuit 120, the 2nd phase-shifting circuit 32 and the piezoelectric radiator 34 constitute the feedback circuit. The input side is connected to the output terminal of amplifier 24, and, as for the 2nd phase-shifting circuit 32, the output side is connected to the input terminal of amplifier 22 through the piezoelectric transducer 34. Moreover, the tank circuit 56 is connected between a piezoelectric transducer 34 and amplifier 22. This tank circuit 56 is grounded through the capacitor 58 again.

[0049]

Thus, the constituted oscillator circuit 120 adjusts the phase of the whole closed loop with two or more amplifier 122, 124 which constitutes the 1st phase-shifting circuit 26. And also in the oscillator circuit 120 of this operation gestalt, the same effectiveness as the oscillator circuit of said operation gestalt can be acquired. In addition, the amplifier which constitutes the 1st phase-shifting circuit 26 may be three or more.

[0050]

Drawing 16 is the block diagram of the oscillator circuit concerning the 4th operation gestalt. The amplifier 132 and 134 which served as the buffer of an impedance with which the oscillator circuit 130 concerning this operation gestalt constitutes the amplifying circuit 20 has the inversed input terminal, the non-inversed input terminal and the reversal output terminal, and the noninverting output terminal. Furthermore, the amplifier which has an inversed input terminal, a non-inversed input terminal and a reversal output terminal, and a noninverting output terminal constitutes the buffer 140 for an output.

[0051]

The electrode of another side of a piezoelectric transducer 34 and the end of a tank circuit 56 are connected to the non-inversed input terminal of the amplifier 132 which constitutes the amplifying circuit 20. Moreover, while having grounded the inversed input terminal of an amplifier 132 through the capacitor 136, the other end of a tank circuit 56 is connected. The input side of the 1st phase-shifting circuit 26 is connected to each of the noninverting output terminal of amplifier 132, and a reversal output terminal. Moreover, the output side of the 1st phase-shifting circuit 26 is connected to the noninverting close terminal of an amplifier 134, the inversed input terminal, and the non-inversed input terminal and inversed input terminal of the buffer 140



for an output. And the noninverting output terminal of amplifier 134 is connected to the input side of the 2nd phase-shifting circuit 32. The output of an oscillator circuit 130 is taken out from the noninverting output terminal of the buffer 140 for an output.

[0052]

Drawing 17 shows the concrete example of the oscillator circuit 130 concerning the 4th operation gestalt. In this example, the 2nd phase-shifting circuit 32 which constitutes the feedback circuit is constituted like the phase-shifting circuit section 54 of the 2nd phase-shifting circuit 32 of the 2nd operation gestalt shown in drawing 7. Moreover, the parallel circuit of resistance 88, a capacitor 90, and a coil 92 constitutes the tank circuit 56. And a capacitative element, an induction component, variable capacitance diode, a delay element, an operational amplifier, the differential amplifier, etc. can constitute like the above the 1st phase-shifting circuit 26 which constitutes the amplifying circuit 20. Moreover, the differential amplifier may be ECL or PECL.

[0053]

Drawing 18 is the sectional view of the mass measuring device equipped with the oscillator circuit concerning either of each above-mentioned operation gestalt. This mass measuring device 150 has the case 152 which contained the oscillator circuit. The case 152 consists of the box-like case body 154 and box-like covering 156. Covering 156 is formed from the plate, and it has fixed watertight to opening of the case body 154 with adhesives 158, and is made for a sample solution object to have not permeated into the case. Moreover, the aperture 162 in which the piezo-electric oscillating piece 160 which is a piezoelectric transducer is exposed is formed in covering 156.

[0054]

In the case of an operation gestalt, the piezo-electric oscillating piece 160 processes an AT cut piezo-electricity diaphragm into the so-called reverse mesa mold, for example, it can be made to perform the RF oscillation of about 150MHz. And the piezo-electric oscillating piece 160 has the excitation electrode 164 (164a, 64b) to both sides of the reverse mesa section. The induction film which is not illustrated for making the quality of a detection object in a sample liquid adhere is prepared in one excitation electrode 164a. The aperture 162 of covering 156 exposes the induction film prepared in excitation electrode 164a, and is contacted on a sample solution object. And the piezo-electric oscillating piece 160 is fixed with electroconductive glue 166 around the aperture 162 in the medial surface of covering 156.



[0055]

The piezo-electric oscillating piece 160 has each excitation electrode 164 and the connection electrode 168 (168a, 168b) formed in one. On the other hand, while having formed the circuit pattern section 170 formed with the conductive ingredient in the medial surface of covering 156, the IC chip 174 is fixed with adhesives 172. This IC chip 174 integrated-circuit-izes above mentioned amplifiers 22 and 24, the above mentioned buffer 24 for an output, etc. of an oscillator circuit (for example, oscillator circuit 50 shown in drawing 7 ). And one connection electrode 168a of the piezo-electric oscillating piece 160 is electrically connected to the circuit pattern section 170 through electroconductive glue 166. While having formed the circuit pattern, the coil 66 of the 1st phase-shifting circuit 26 which is not illustrated to this Fig., the coil 80 of the phase-shifting circuit section 54 which constitutes the 2nd phase-shifting circuit 52, etc. are arranged in this circuit pattern section 170. The circuit pattern section 170 is electrically connected to the IC chip 174 with two or more wires 176 which consist of gold etc. Moreover, connection electrode 168b of another side of the piezo-electric oscillating piece 160 is electrically connected to the IC chip 174 with the wire 176. Furthermore, the case body 154 has a breakthrough 178 on a side face, and the cable 180 is connected to this breakthrough 178. The power-source line, the signal output line, etc. are unified, and, as for the cable 180, the head of these lines is connected to the IC chip 174.

[0056]

As the mass measuring device 150 which is such was shown in drawing 19 , the signal output line of a cable 180 is connected to a frequency counter 190. The output side is connected to the computer 192 and this frequency counter 190 inputs into a computer 192 the oscillation frequency of the mass measuring device 150 which carried out counting. And it is immersed in the sample solution object 196 with which the mass measuring device 150 is stored in the specimen container 194. The quality of a detection object in the sample solution object 196 is combined with the induction film prepared in excitation electrode 164a of the piezo-electric oscillating piece 160. A computer 192 calculates and asks for mass, concentration, etc. of the matter which were combined with the induction film (excitation electrode 164a) according to the algorithm to which the oscillation frequency of the piezo-electric oscillating piece 160 at the time of combining the quality of a detection object which a frequency counter 190 outputs was beforehand given as compared with the oscillation frequency (oscillation frequency



before a detection object joins together) of criteria. In addition, you may make it an oscillator circuit contain only the piezo-electric oscillating piece 160 inside a case 152. If it does in this way, a case 152 can be made small and arrangement and insertion into a minuter part will be attained.

[0057]

In addition, the concrete approach of the measurement by the mass measuring device 150 among liquid is performed as follows. First, the liquid (a solvent and solution) which does not contain the quality of a detection object in a specimen container 194 is stored, and the mass measuring device 150 is immersed in the liquid. And it waits to stabilize resonance of a piezoelectric transducer 160 in a liquid. If resonance is stabilized, this resonance frequency will be stored in a computer 192 as reference frequency. Then, carry out specified quantity addition, the liquid in a specimen container 194 is made to diffuse the sample (liquid) containing the quality of a detection object, and the quality of a detection object in the added sample is combined with the induction film 22 of the piezo-electric oscillating piece 160.

[0058]

In addition, you may measure as follows. First, two specimen containers 194 are prepared, only the liquid (for example, water or alcohol) which does not include a detection object is put into one side, and the sample which made water or alcohol dissolve or distribute a detection object is paid to another side. And it sets in one container and asks for the reference frequency in the liquid of the piezo-electric oscillating piece 160 (oscillation frequency). Then, the mass measuring device 150 is immersed into the sample of the container of another side, and a detection object is measured. thus, the thing to do -- the concentration of a detection object etc. -- more -- accuracy -- it can ask simply.

[0059]

Moreover, the mass measuring device 150 which made the quality of a detection object adhere or react to the induction film 22 beforehand is immersed in liquids, such as water or alcohol. Then, desorption or the chemical made to disassemble is added for the quality of a detection object into a liquid, and the quality of a detection object is removed from the induction film. Thereby, the amount of the matter combined with the induction film etc. can be measured.

[0060]

In addition, in connection with a piezoelectric transducer being miniaturized, the interelectrode capacity  $C_0$  of a piezoelectric transducer becomes large, and the oscillator circuit of each of said



operation gestalt can be applied also when change of the phase in a piezoelectric transducer is small.

[0061]

Moreover, although the case where the oscillator circuit concerning each above-mentioned operation gestalt was applied to the mass measuring device 150 which detects the special material in a liquid was explained, the oscillator circuit concerning this invention can be used for the measuring device which measures various kinds of very small physical quantity. For example, it is also possible to use it as an odor sensor, a moisture sensor, a plating thickness monitor, an ion sensor, viscosity/density meter, etc. First, what is necessary is just to apply to the front face of an excitation electrode the induction film which adsorbs the odor matter selectively, in using it as an odor sensor. Moreover, what is necessary is just to apply the water absorption film, in using it as a moisture sensor (refer to JP,7-209165,A).

[0062]

On the other hand, in using it as a plating thickness monitor, it immerses the piezoelectric transducer for mass measurement into plating liquid with a plating object. In this case, the resonance frequency of a piezo-electric oscillating piece falls with the increment in the plating thickness adhering to the front face of an excitation electrode. Therefore, the plating thickness of a plating object is detectable. Moreover, what is necessary is just to apply ion adsorbate as induction film, in using it as an ion sensor. And quantitative analysis of the ion in a specimen solution can be carried out by making ion stick to the induction film and measuring the frequency variation of a piezo-electric oscillating piece.

In addition, like an odor sensor, when using it into mind, it is desirable to prepare the induction film in the excitation electrode 164 of both sides of the piezo-electric oscillating piece 160. In this case, both sides of the piezo-electric oscillating piece 160 are exposed, and it is made to contact the odor matter. It can take for this combining with the piezo-electric oscillating piece 160, the amount of the matter can be made [ many ], detection sensitivity can improve, and the accuracy of measurement can be raised.

[0063]

It is also possible to, measure very small physical quantity other than mass with the mass measuring device concerning this invention on the other hand. The measurement principle in the case of using the mass measuring device concerning this invention for below as viscosity/a density meter is explained. Thickness slip vibration of the AT cut



piezoelectric transducer is carried out along the front face. If it is immersed into a liquid and this AT cut piezoelectric transducer is oscillated, shearing stress will be produced between liquids. Then, the degree type showing the frequency variation by the viscosity of a liquid is drawn from the viscous formula of Newton, and the formula of an oscillation of a quartz resonator.

[0064]

[Equation 3]

$$df = -f_0^{\frac{3}{2}} \cdot \left( \frac{\eta \rho_L}{\pi \mu \rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

[0065]

However, for the variation of the resonance frequency of a piezo-electric oscillating piece, and  $f_0$ , the initial value of the resonance frequency of a piezo-electric oscillating piece and  $\eta$  are [  $df /$  the consistency of a liquid and  $\mu$  of the viscosity of a liquid and  $\rho_L$  ] the elastics modulus of piezoelectric material. a top type -- setting -- the viscosity  $\eta$  of a liquid, or either of the consistency  $\rho_L$  [ of a liquid ]  $L$  -- fixed, then either -- another side and the variation of resonance frequency correspond to one to one. Therefore, it can ask for viscosity change of a liquid or consistency change of a liquid by measuring the variation of resonance frequency.

[Brief Description of the Drawings]

[0066]

[Drawing 1] The block diagram of the oscillator circuit for piezoelectric transducers concerning the 1st operation gestalt.

[Drawing 2] Drawing showing an example of the phase leading circuit which constitutes the phase-shifting circuit of an operation gestalt.

[Drawing 3] Drawing showing an example of the late phase circuit which constitutes the phase-shifting circuit of an operation gestalt.

[Drawing 4] Drawing showing an example of the resonance circuit which constitutes the phase-shifting circuit of an operation gestalt.

[Drawing 5] Drawing showing an example of the reactance control circuit which constitutes the phase-shifting circuit of an operation gestalt.

[Drawing 6] Drawing showing the example of a configuration of the 1st phase-shifting circuit concerning an operation gestalt.

[Drawing 7] The block diagram of the oscillator circuit for piezoelectric transducers concerning the 2nd operation gestalt.



[Drawing 8] The circuit diagram showing the example of the 2nd operation gestalt.

[Drawing 9] Drawing showing the condition of having changed the phase by the phase-shifting circuit of a feedback circuit.

[Drawing 10] Drawing showing change of the gain when changing a phase by the phase-shifting circuit of a feedback circuit.

[Drawing 11] Drawing showing the condition of having changed the phase by the phase-shifting circuit of an amplifying circuit.

[Drawing 12] Drawing showing the relation between the resonance frequency of a tank circuit, and gain.

[Drawing 13] The flow chart of the adjustment approach of the oscillator circuit concerning an operation gestalt.

[Drawing 14] Drawing showing an example of the measurement result of the phase change in an oscillator circuit.

[Drawing 15] The block diagram of the oscillator circuit concerning the 3rd operation gestalt.

[Drawing 16] The block diagram of the oscillator circuit concerning the 4th operation gestalt.

[Drawing 17] The circuit diagram showing the example of the 4th operation gestalt.

[Drawing 18] The sectional view of the mass measuring device concerning the gestalt of operation.

[Drawing 19] Drawing showing an example of the busy condition of a mass measuring device.

[Drawing 20] Drawing showing CI value change in the inside of the air of a piezoelectric transducer, and a liquid.

[Drawing 21] Drawing showing change of the phase in the inside of the air of a piezoelectric transducer, and a liquid.

[Drawing 22] The circuitry block diagram of an oscillator circuit.

[Drawing 23] The explanatory view of an operation gestalt using a reactance control circuit.

[Drawing 24] Drawing showing an oscillation condition with the inside of the air after adjustment, and a liquid.

[Drawing 25] The explanatory view of the oscillator circuit corresponding to the property change in a liquid.

[Description of Notations]

[0067]

10 50, 120, 130 -- Oscillator circuit

20 -- Amplifying circuit

22, 24, 132, 134 -- Amplifier

26 -- The 1st phase-shifting circuit



30 52 -- Feedback circuit  
32 52 -- The 2nd phase-shifting circuit  
34 -- Piezoelectric transducer  
56 -- Tank circuit  
150 -- Mass measuring device  
160 -- Piezoelectric transducer  
170 -- Circuit pattern section  
174 -- IC chip

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[0066]

[Drawing 1] The block diagram of the oscillator circuit for piezoelectric transducers concerning the 1st operation gestalt.

[Drawing 2] Drawing showing an example of the phase leading circuit which constitutes the phase-shifting circuit of an operation gestalt.

[Drawing 3] Drawing showing an example of the late phase circuit which constitutes the phase-shifting circuit of an operation gestalt.

[Drawing 4] Drawing showing an example of the resonance circuit which constitutes the phase-shifting circuit of an operation gestalt.

[Drawing 5] Drawing showing an example of the reactance control circuit which constitutes the phase-shifting circuit of an operation gestalt.

[Drawing 6] Drawing showing the example of a configuration of the 1st phase-shifting circuit concerning an operation gestalt.

[Drawing 7] The block diagram of the oscillator circuit for piezoelectric transducers concerning the 2nd operation gestalt.

[Drawing 8] The circuit diagram showing the example of the 2nd operation gestalt.



[Drawing 9] Drawing showing the condition of having changed the phase by the phase-shifting circuit of a feedback circuit.

[Drawing 10] Drawing showing change of the gain when changing a phase by the phase-shifting circuit of a feedback circuit.

[Drawing 11] Drawing showing the condition of having changed the phase by the phase-shifting circuit of an amplifying circuit.

[Drawing 12] Drawing showing the relation between the resonance frequency of a tank circuit, and gain.

[Drawing 13] The flow chart of the adjustment approach of the oscillator circuit concerning an operation gestalt.

[Drawing 14] Drawing showing an example of the measurement result of the phase change in an oscillator circuit.

[Drawing 15] The block diagram of the oscillator circuit concerning the 3rd operation gestalt.

[Drawing 16] The block diagram of the oscillator circuit concerning the 4th operation gestalt.

[Drawing 17] The circuit diagram showing the example of the 4th operation gestalt.

[Drawing 18] The sectional view of the mass measuring device concerning the gestalt of operation.

[Drawing 19] Drawing showing an example of the busy condition of a mass measuring device.

[Drawing 20] Drawing showing CI value change in the inside of the air of a piezoelectric transducer, and a liquid.

[Drawing 21] Drawing showing change of the phase in the inside of the air of a piezoelectric transducer, and a liquid.

[Drawing 22] The circuitry block diagram of an oscillator circuit.

[Drawing 23] The explanatory view of an operation gestalt using a reactance control circuit.

[Drawing 24] Drawing showing an oscillation condition with the inside of the air after adjustment, and a liquid.

[Drawing 25] The explanatory view of the oscillator circuit corresponding to the property change in a liquid.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

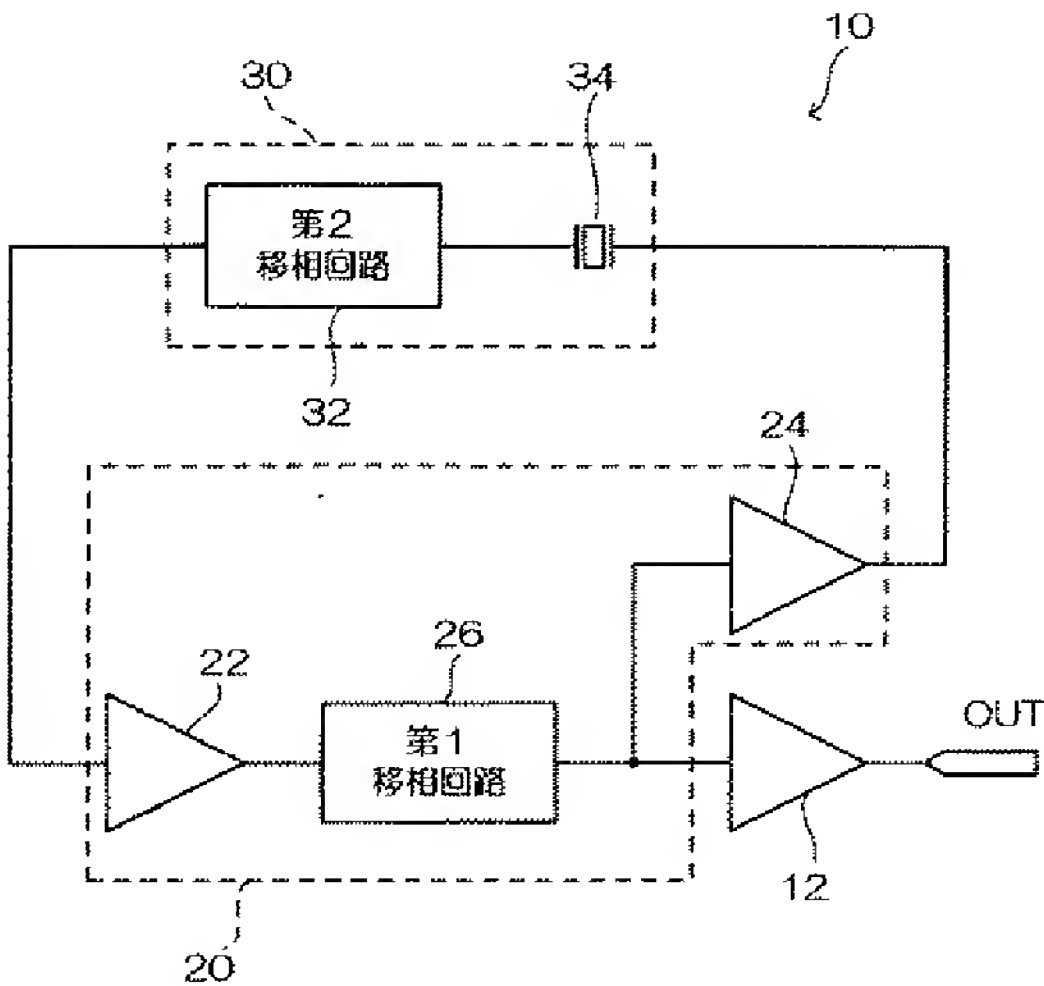
JPO and NCIP are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.



- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

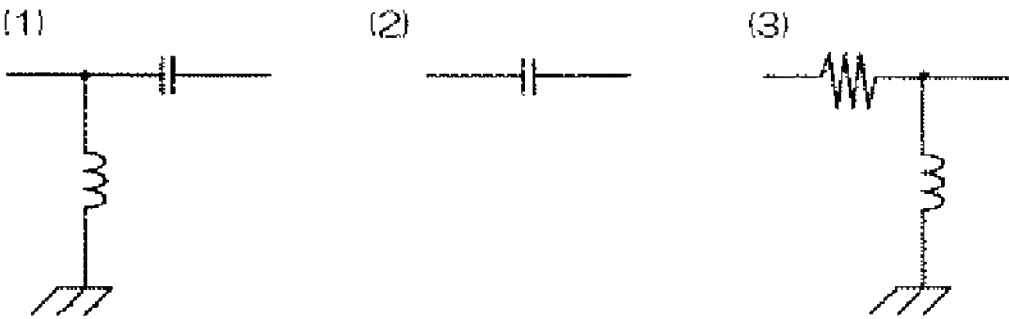
DRAWINGS

[Drawing 1]

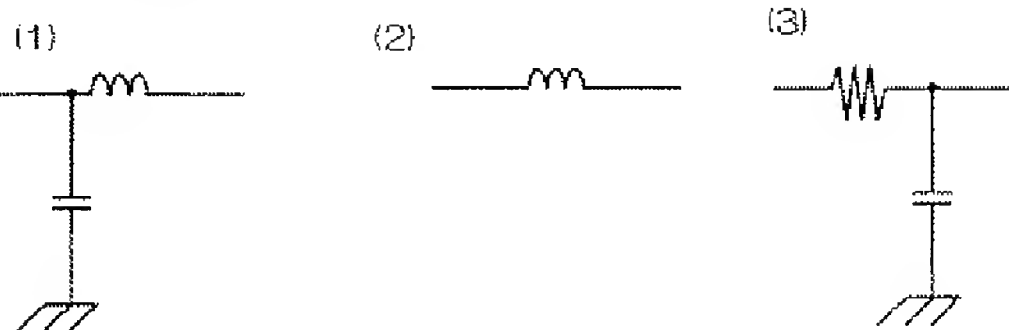


- |            |           |
|------------|-----------|
| 10：発振回路    | 30：帰還回路   |
| 20：増幅回路    | 32：第2移相回路 |
| 22, 24：増幅器 | 34：圧電振動子  |
| 26：第1移相回路  |           |

[Drawing 2]

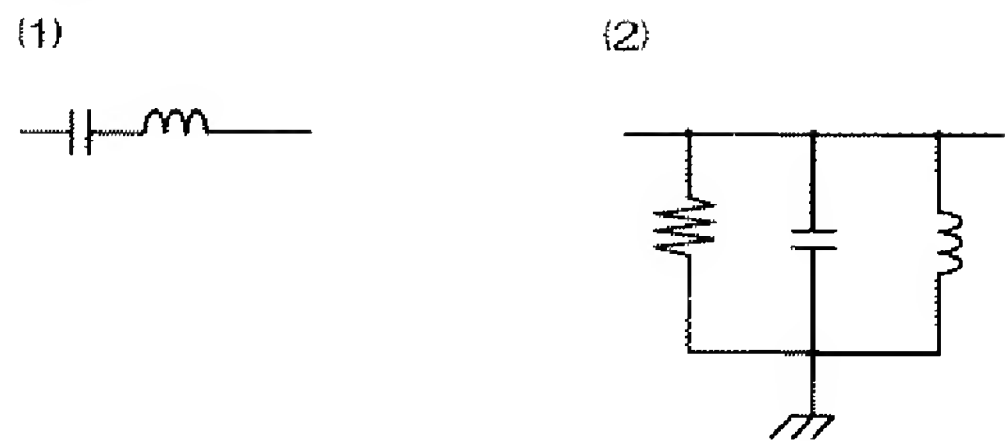


[Drawing 3]

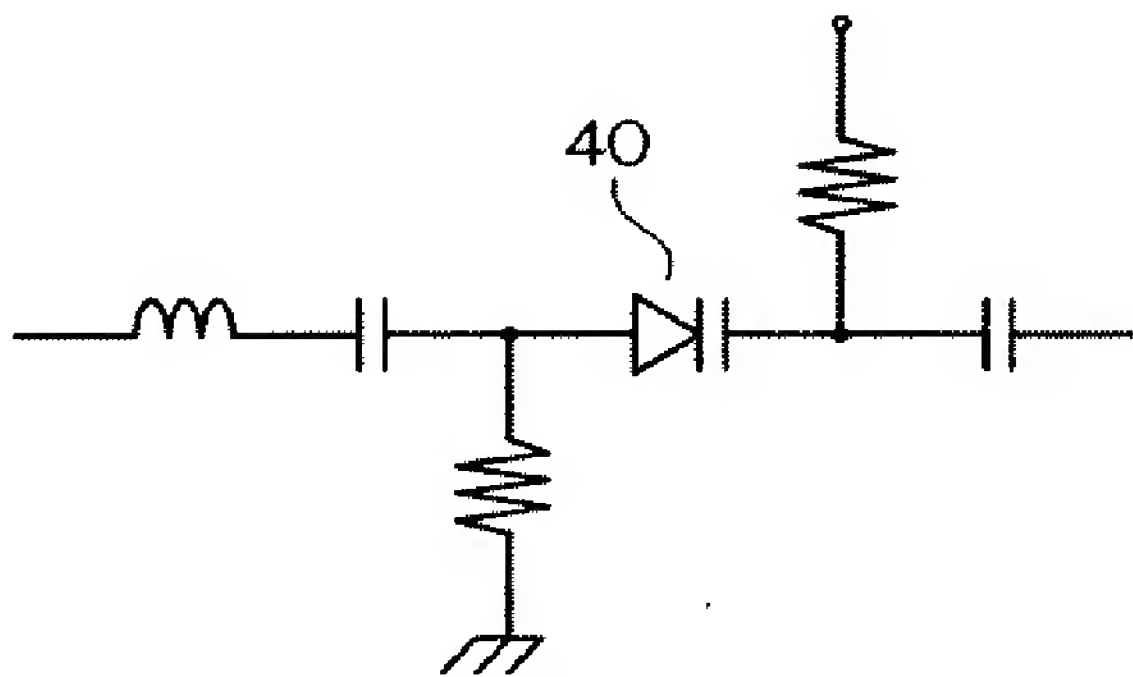




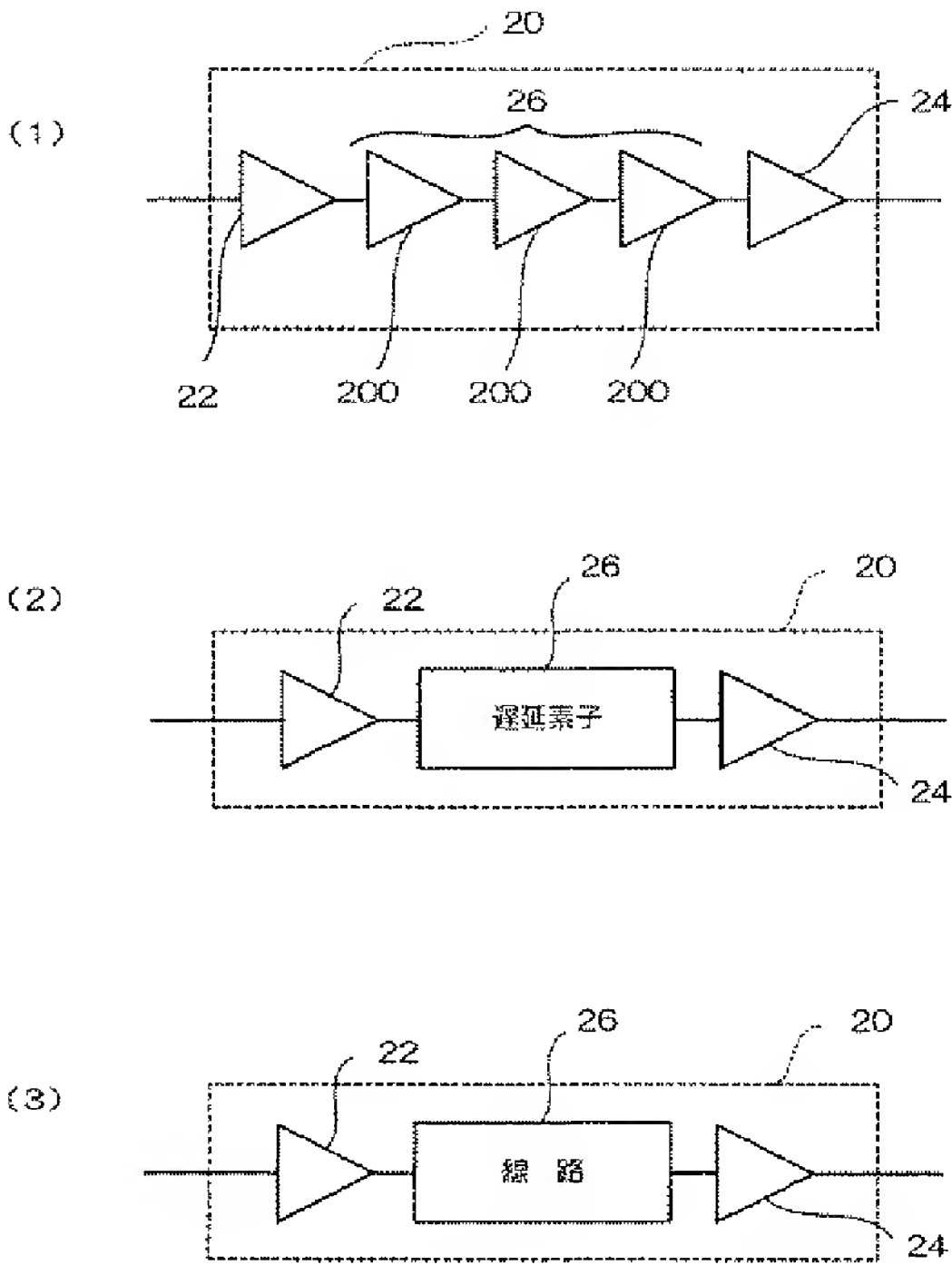
[Drawing 4]



[Drawing 5]

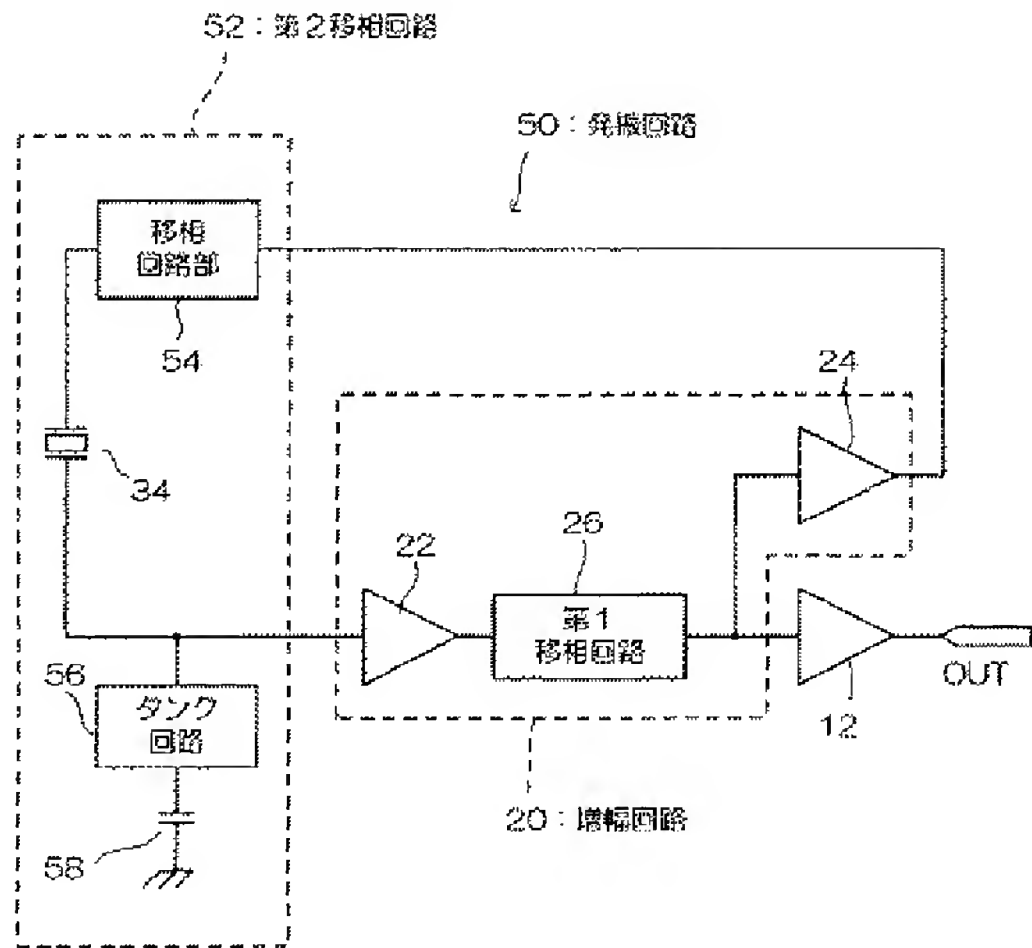


[Drawing 6]

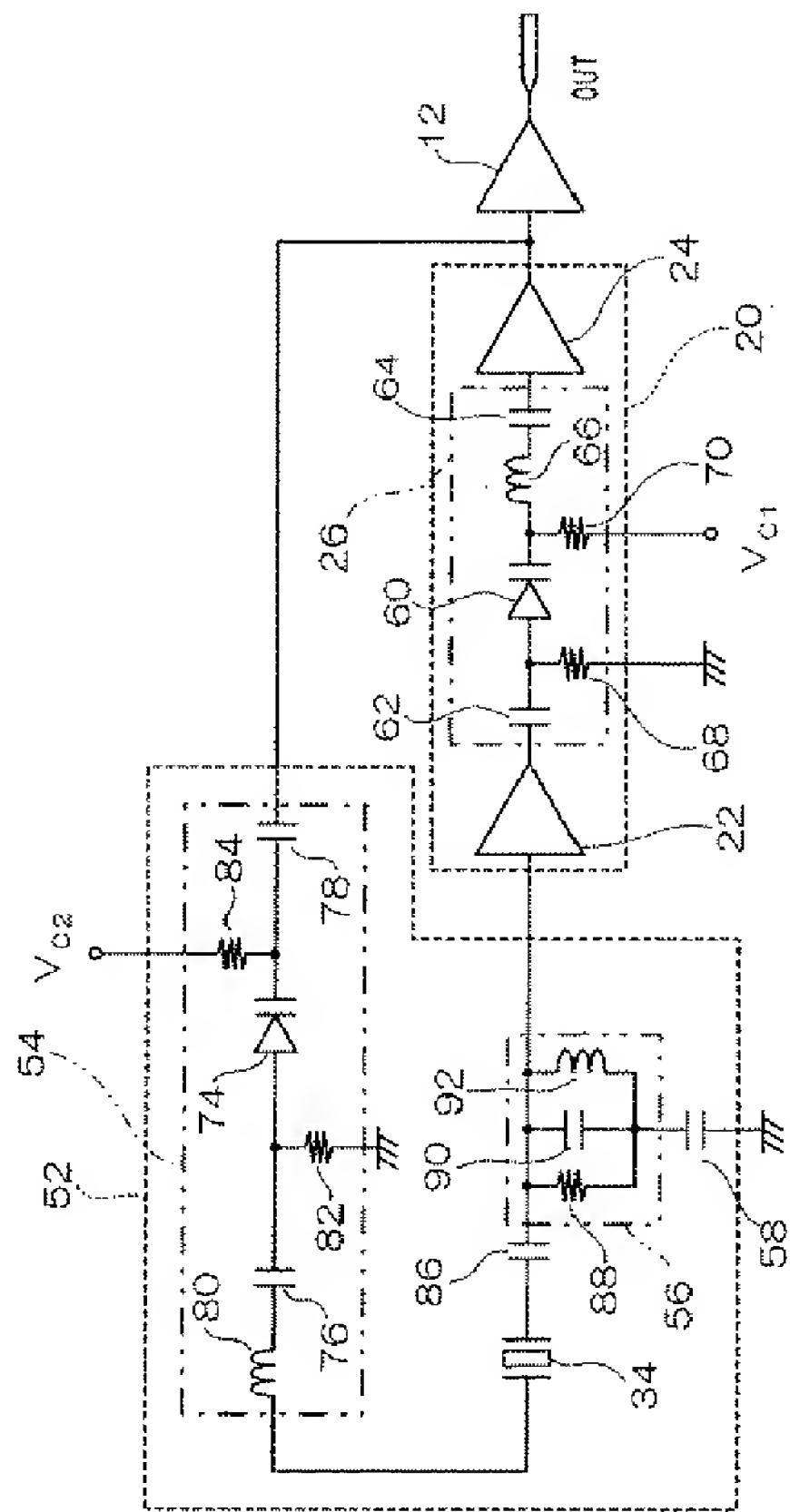




[Drawing 7]

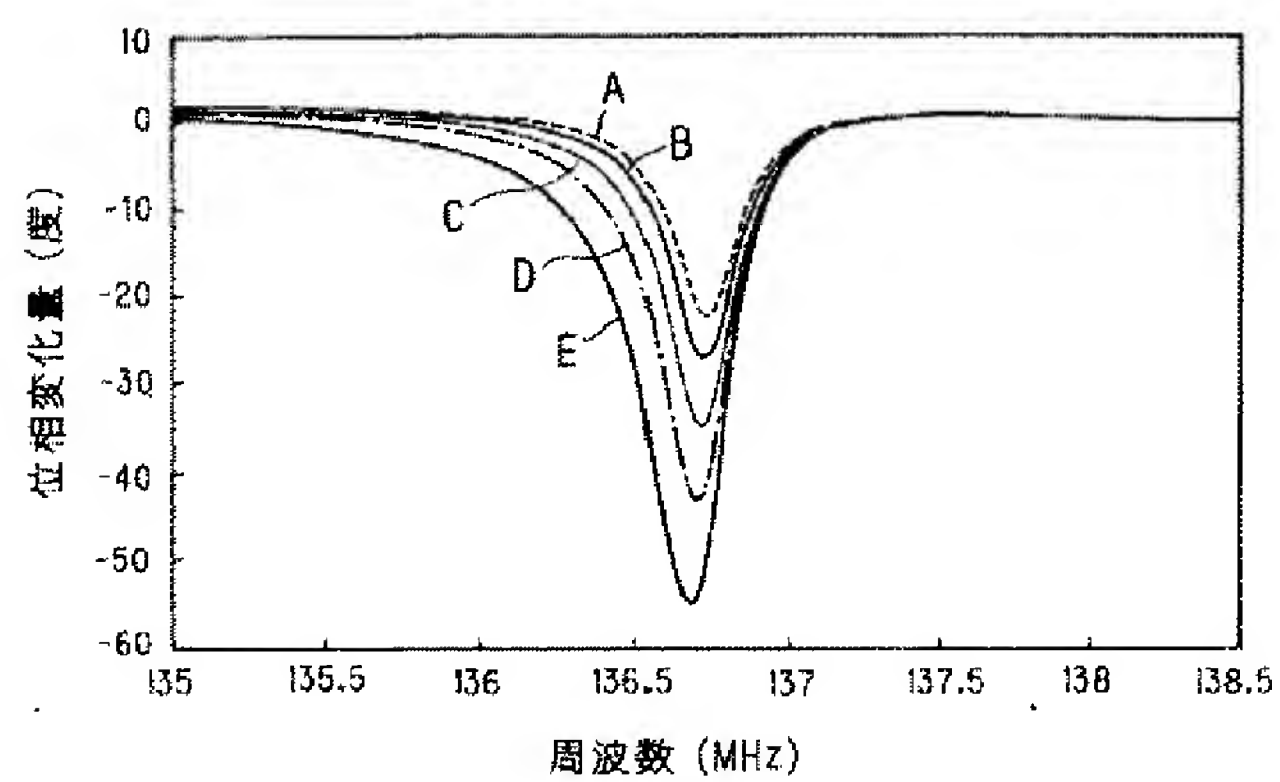


[Drawing 8]

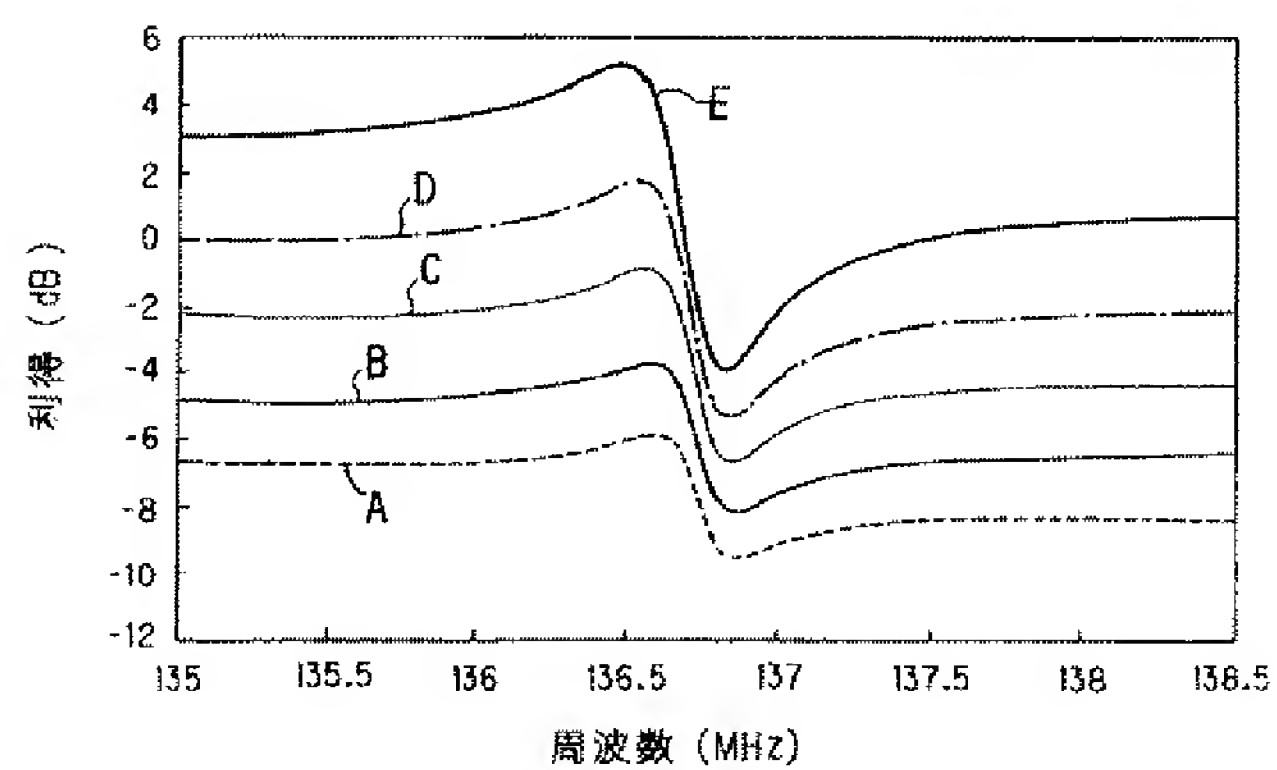


[Drawing 9]

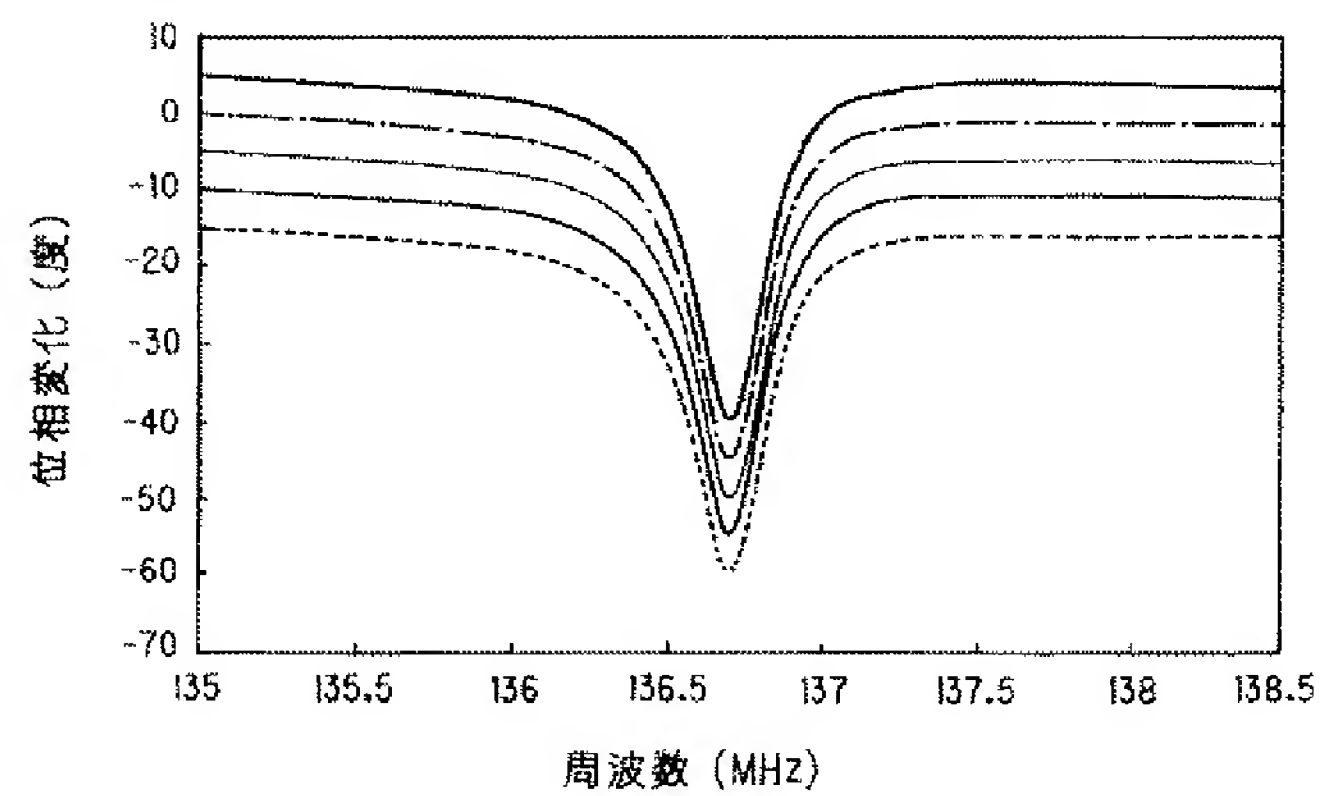




[Drawing 10]

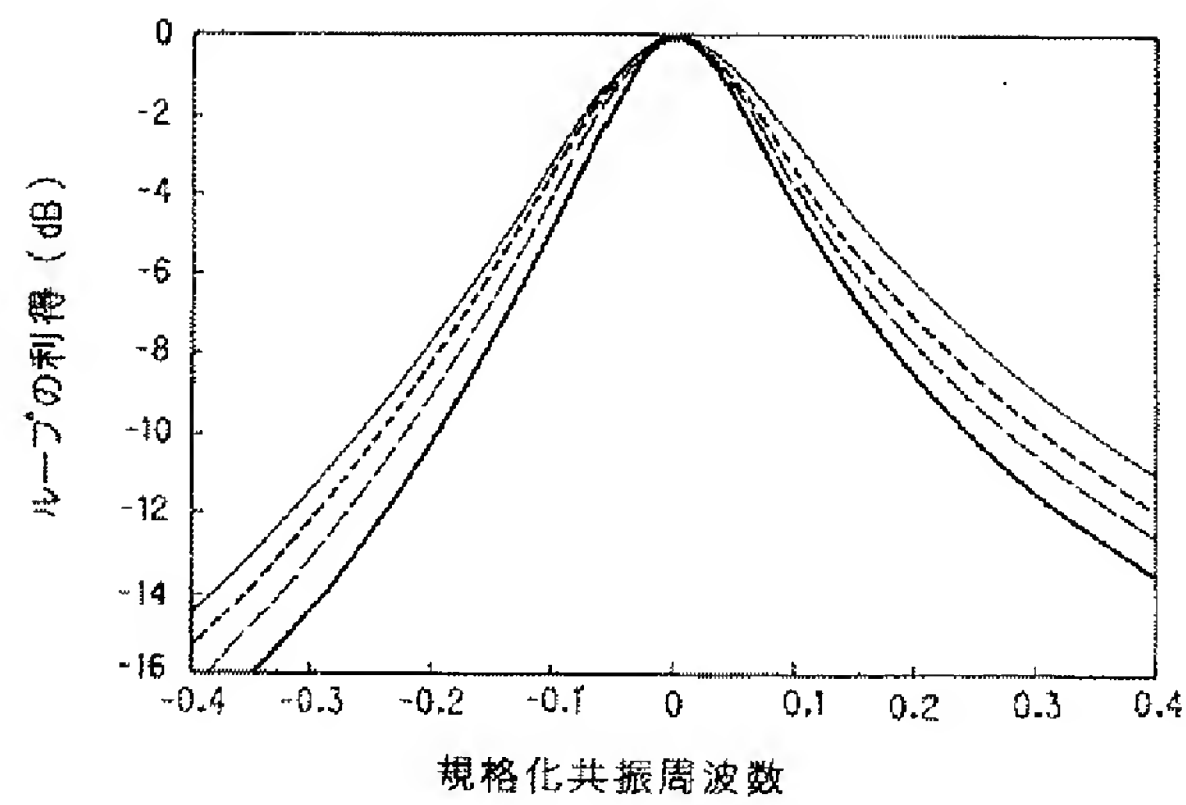


[Drawing 11]

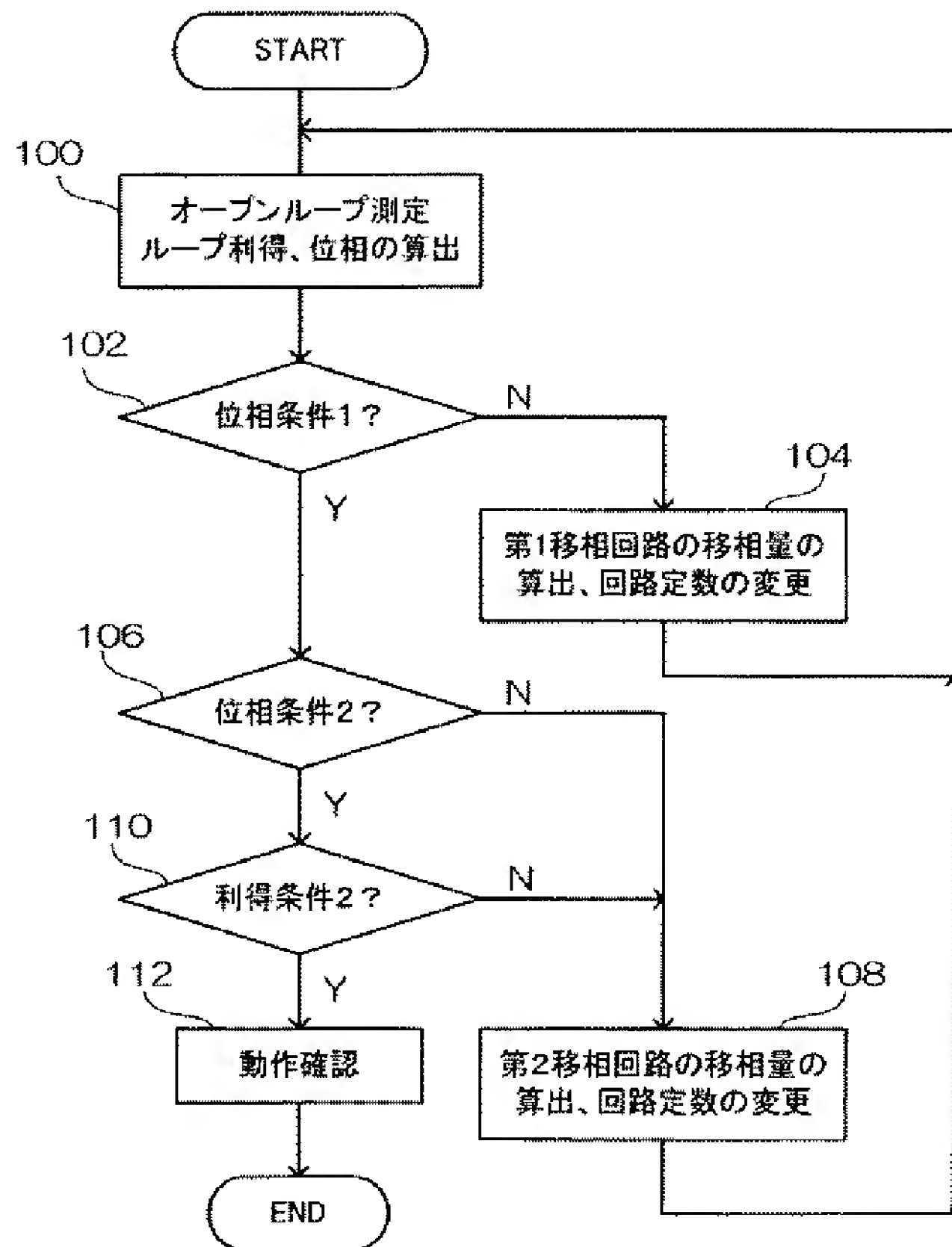


[Drawing 12]





[Drawing 13]



[Drawing 14]



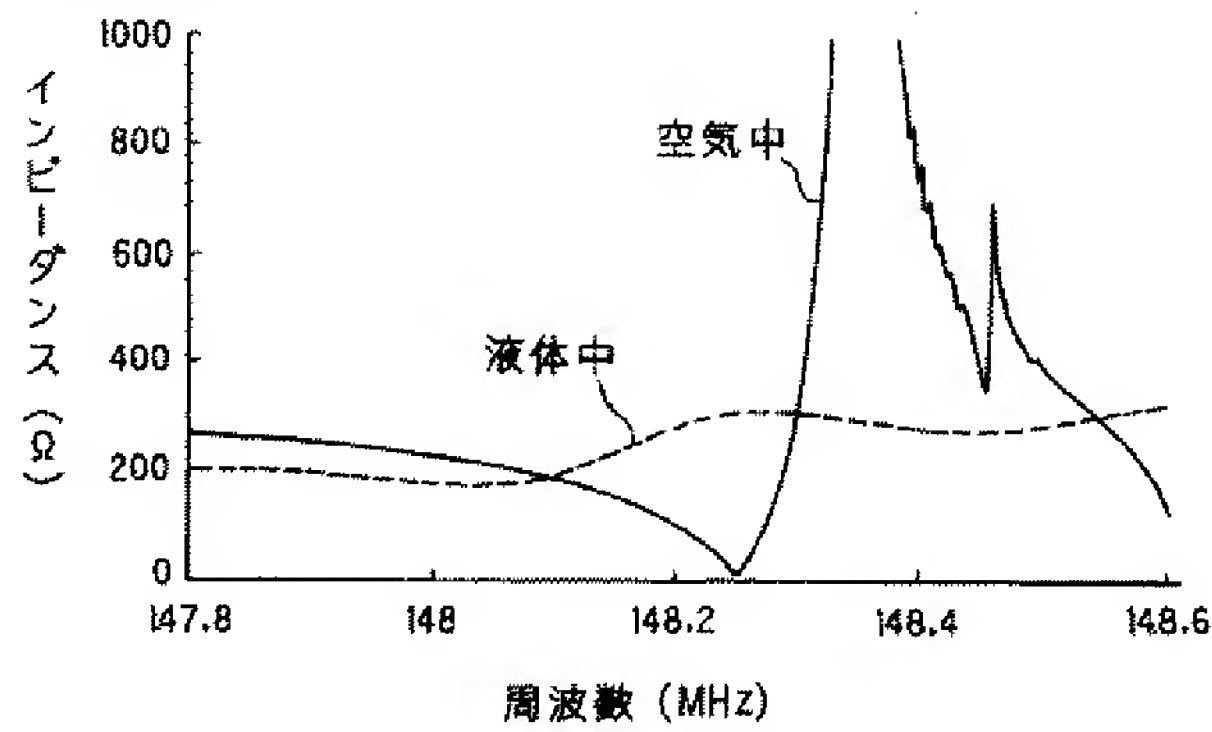




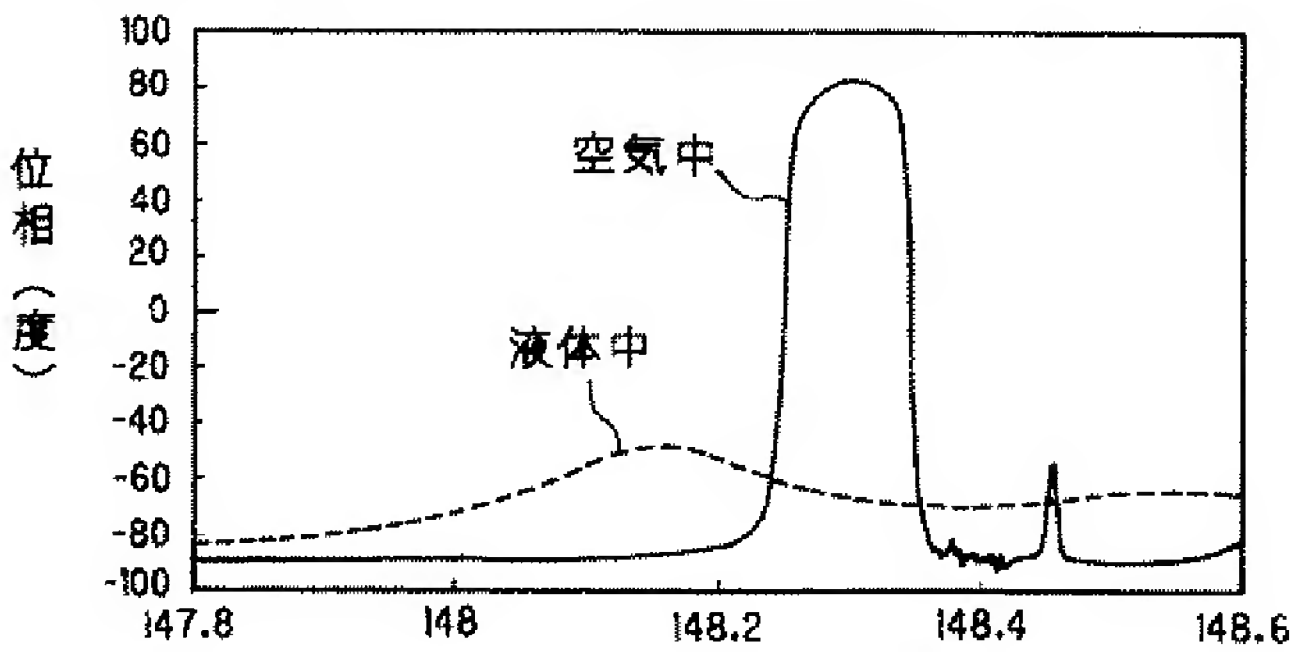




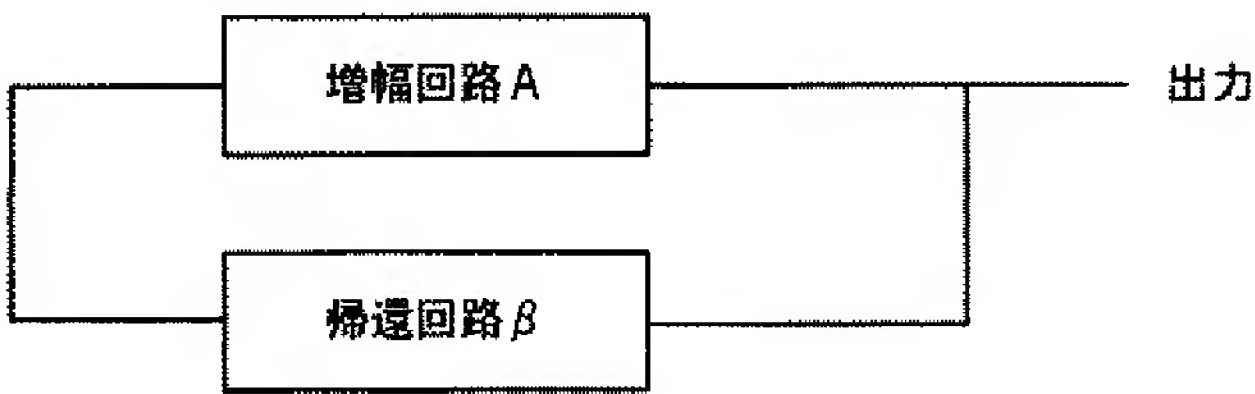
[Drawing 20]



[Drawing 21]

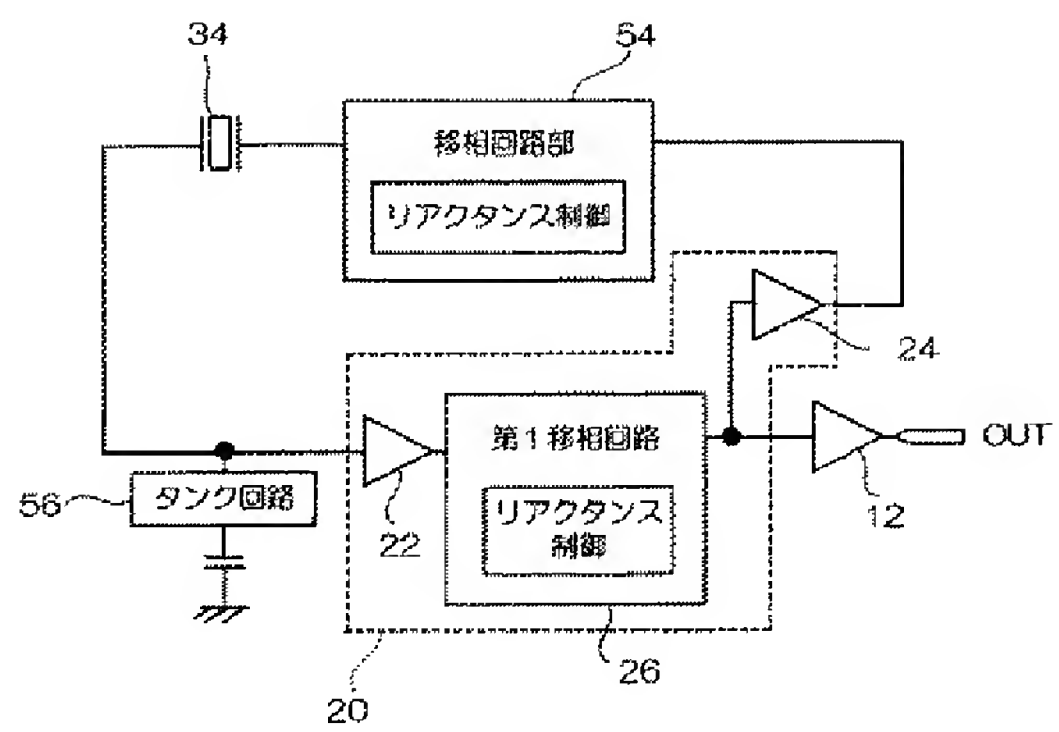


[Drawing 22]

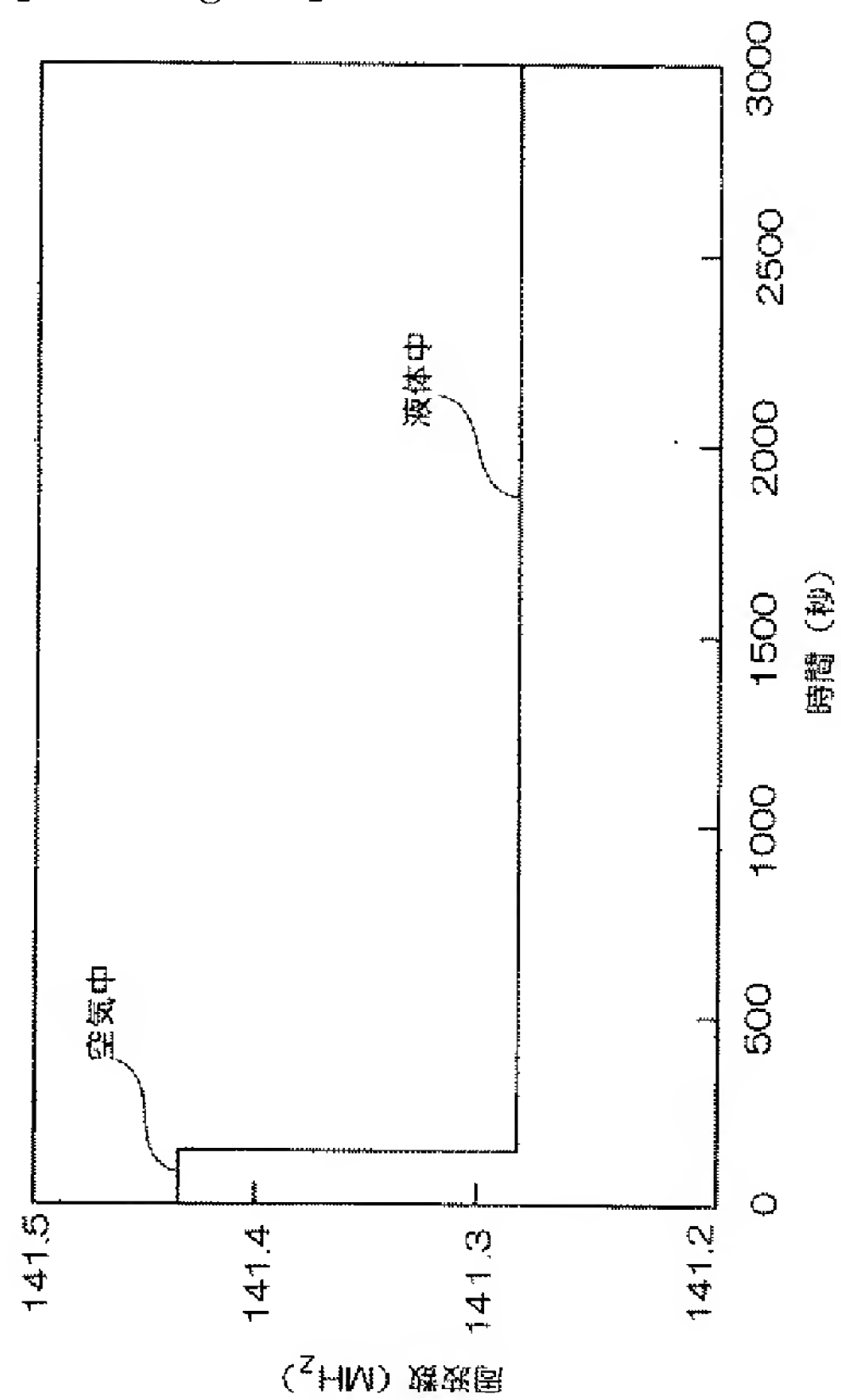


[Drawing 23]



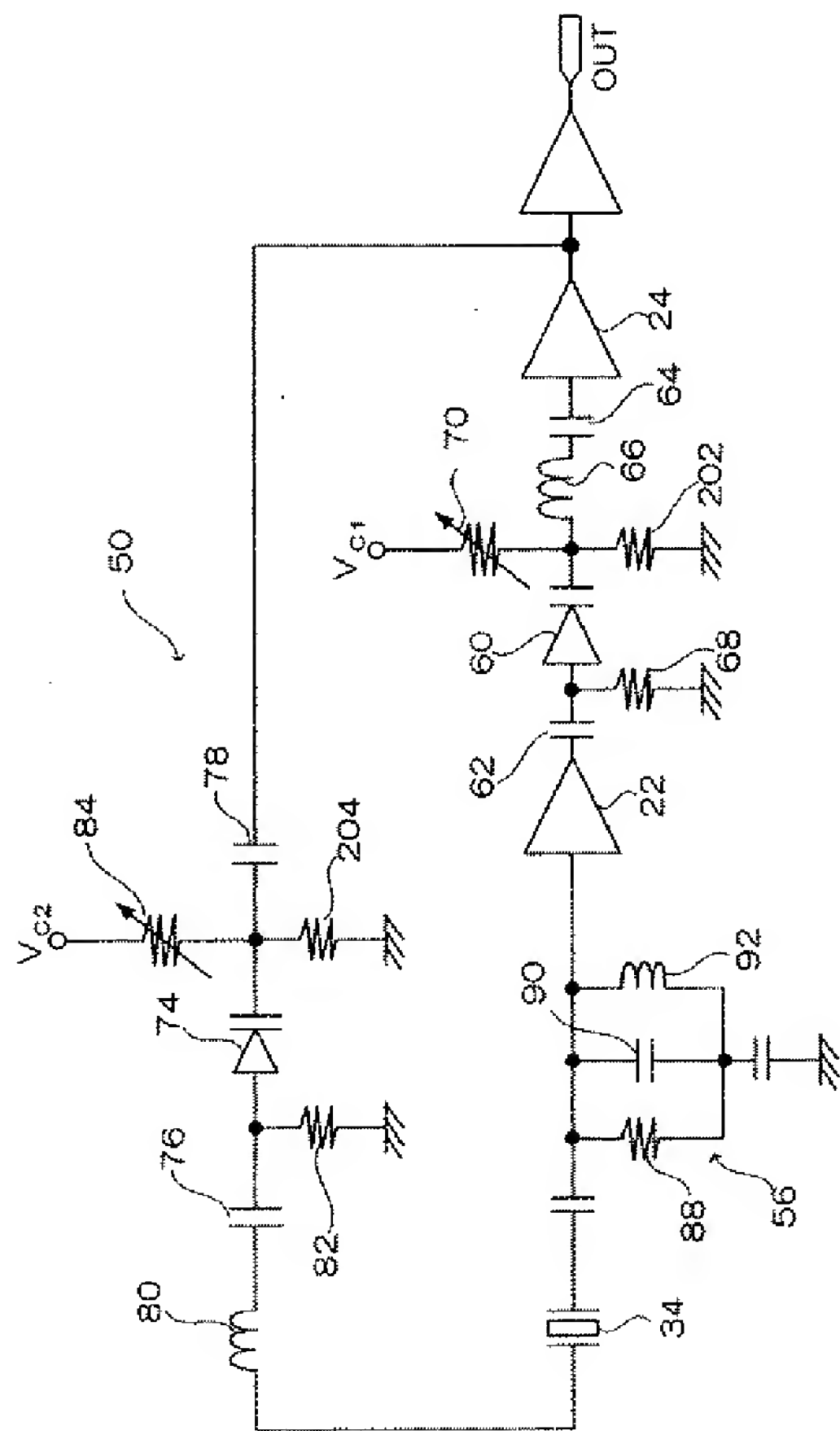


[Drawing 24]



[Drawing 25]






---

[Translation done.]



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-304766

(P2004-304766A)

(43) 公開日 平成16年10月28日(2004. 10. 28)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F 1

テーマコード (参考)

H 0 3 B 5/32

H 0 3 B 5/32

D

5 J 0 7 9

G 0 1 N 5/02

H 0 3 B 5/32

Z

5 J 1 0 8

H 0 3 B 5/30

G 0 1 N 5/02

A

H 0 3 H 3/04

H 0 3 B 5/30

B

H 0 3 H 7/20

H 0 3 H 3/04

B

審査請求 有 請求項の数 10 O L (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2004-13195 (P2004-13195)

(22) 出願日 平成16年1月21日(2004. 1. 21)

(31) 優先権主張番号 特願2003-72363 (P2003-72363)

(32) 優先日 平成15年3月17日(2003. 3. 17)

(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(74) 代理人 100095728

弁理士 上柳 雅誉

(74) 代理人 100107076

弁理士 藤網 英吉

(74) 代理人 100107261

弁理士 須澤 修

(72) 発明者 小林 祥宏

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

Fターム(参考) 5J079 AA04 BA21 FA01 FA14 FA15

FA21 FA26 FB01 FB25 HA25

JA02 KA00

5J108 AA01 AA02 BB02 DD02

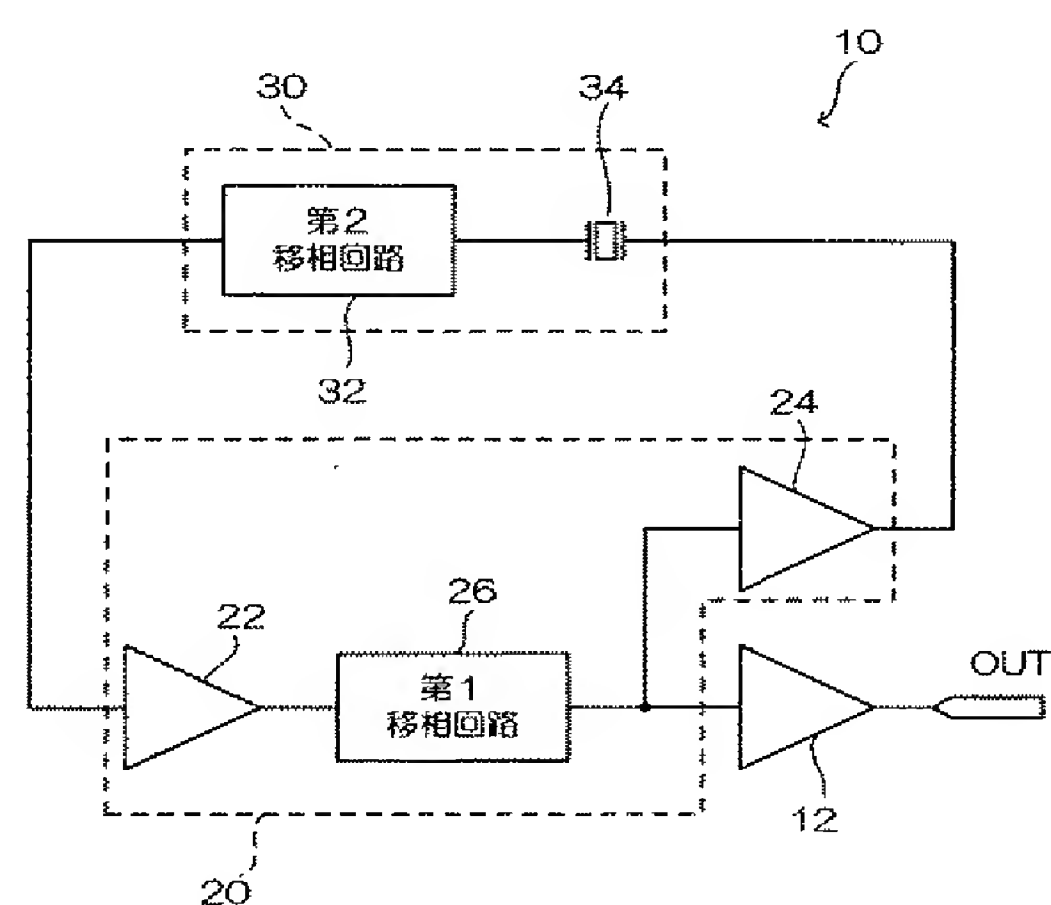
(54) 【発明の名称】 発振回路およびその調整方法並びにそれを用いた質量測定装置

(57) 【要約】

【課題】 気体中と液体中とで確実に発振できるようにする。

【解決手段】 発振回路10は、増幅回路20と帰還回路30とによって閉ループが形成してある。増幅回路20は、インピーダンスのバッファを兼ねた一対の増幅器22、24と第1移相回路26とからなっている。帰還回路30は、第2移相回路32と圧電振動子34とから構成してある。第2移相回路32は、帰還回路30の位相と利得とを調整可能である。増幅回路20の第1移相回路26は、増幅回路22、24の間に設けられて第2移相回路32とインピーダンス的に分離され、閉ループ全体の位相が調整可能となっている。

【選択図】 図1



10：発振回路

30：帰還回路

20：増幅回路

32：第2移相回路

22、24：増幅器

34：圧電振動子

26：第1移相回路



**【特許請求の範囲】****【請求項1】**

インピーダンスのバッファを兼ねた複数の増幅器と、  
これらの増幅器の間に接続され、発振ループの位相を調整可能な第1移相回路と、  
入力側が前記第1移相回路の出力側を接続した前記増幅器の出力端子に接続され、出力側が前記第1移相回路の入力側を接続した前記増幅器の入力端子に接続された帰還回路と、  
前記帰還回路内には、発振ループの位相と利得とを調整可能な第2移相回路と、前記第2位相回路と直列に接続された圧電振動子と、  
を有することを特徴とする発振回路。

**【請求項2】**

請求項1に記載の発振回路において、  
前記第2移相回路は、圧電振動子の発振周波数において共振するタンク回路を有することを特徴とする発振回路。

**【請求項3】**

請求項1または2に記載の発振回路において、  
前記第1移相回路と前記第2移相回路との少なくとも一方は、外部からの制御電圧に基づいて、前記発振ループの位相を調整可能な電圧制御移相回路からなることを特徴とする発振回路。

**【請求項4】**

請求項1ないし3のいずれかに記載の発振回路において、  
前記増幅器は、反転入力端子と非反転入力端子および反転出力端子と非反転出力端子とを有する差動増幅器であることを特徴とする発振回路。

**【請求項5】**

請求項4に記載の発振回路において、  
前記差動増幅器は、エミッタ結合論理回路であることを特徴とする発振回路。

**【請求項6】**

請求項1ないし5のいずれかに記載の発振回路において、  
前記圧電振動子は、ATカット水晶振動子、逆メサ型ATカット水晶振動子またはSAW振動子のいずれかであることを特徴とする発振回路。

**【請求項7】**

請求項1ないし6のいずれかに記載の発振回路の調整方法であって、  
前記発振回路の回路特性を測定し、前記圧電振動子を気相中と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振回路の発振周波数における発振ループの利得と位相とを求める利得・位相演算工程と、  
前記発振回路の前記第1移相回路の回路定数を変更し、前記圧電振動子を気相と液相中とに配置したときのそれぞれについて、主振動の周波数近傍でないより高い周波数範囲で位相が0で利得が1以下となるように位相条件を調整する第1位相調整工程と、  
前記発振回路の前記第2移相回路の回路定数を変更し、前記圧電振動子を気相と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振周波数の近傍であって、位相が大きく変化する周波数の範囲内において、前記発振回路の位相をほぼ0度に調整する第2位相調整工程と、  
前記発振回路の前記第2移相回路の回路定数を変更し、前記圧電振動子を気相と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振回路の発振ループの利得を1以上に調整する利得調整工程と、  
を有することを特徴とする発振回路の調整方法。

**【請求項8】**

請求項7に記載の発振回路の調整方法において、  
前記利得調整工程は、負性抵抗を前記圧電振動子のインピーダンスの3倍以上とすることを特徴とする発振回路の調整方法。



## 【請求項9】

請求項7または8に記載の発振回路の調整方法において、  
前記各工程は、前記発振回路をオープンループにして行なうことを特徴とする発振回路の調整方法。

## 【請求項10】

請求項1ないし6のいずれかに記載の発振回路を有することを特徴とする質量測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、圧電振動子用の発振回路に係り、特に液体中に浸漬される圧電振動子を発振させるのに好適な発振回路およびその調整方法並びにそれを用いた質量測定装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、圧電振動子である水晶振動子を用いた微量天秤と呼ばれる水晶振動子微量天秤（Quartz Crystal Microbalance：QCM）が注目されている。このQCMは、水晶振動子の電極に物質が付着すると、発振周波数が低下することを利用している。そして、QCMは、ナノグラム（ng）以下の質量を検出することが可能であるところから、バイオセンサや化学センサなどとして医学や生化学、食品や環境測定などの広い分野において微量物質の検出に応用されてきている。

## 【0003】

例えば、水晶振動子を質量測定装置として使用する場合、水晶振動子を液体中に浸漬して使用することがある。このとき、空気中と液体中とでは、水晶振動子の実効的なクリスタルインピーダンス（以下、「CI値」と書く）が大きく変化し、液体中におけるCI値が空気中におけるCI値よりも10～30倍程度大きくなる。CI値が大きいほど水晶振動子を発振させることが困難になるので、空気中において水晶振動子を発振する回路条件を用いても、液体中において水晶振動子を発振させることは困難となる。そこで、従来は、発振回路の増幅度を上げることにより、水晶振動子を液体中でも発振できるようにしていた（例えば、特許文献1）。また、高速CMOSからなるインバータを用いて基本周波数の異なる複数の水晶振動子を同じ回路によって発振させる発振回路が提案されている（特許文献2）。ただし、特許文献2では、気相中での動作しか示唆していない。

## 【0004】

【特許文献1】特開平11-163633号公報（段落番号0004、図1）

【特許文献2】特開2001-289765号公報（段落番号0015）

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

発振回路は、発振ループを形成する帰還回路であるため、発振ループの発振条件が満足されると、振動子を經由しないで、或いは經由しても振動子の共振周波数でない周波数で発振することがある。このため、特許文献1のように増幅度を大きくすると、このような不要な発振がおきやすくなる問題がある。また、発振回路は、実際の回路に組み込まれた場合、種々の回路に電氣的に接続される。このため、発振回路の増幅度を大きくすると、振動子を備えていない種々の回路において発振を生ずる可能性があり、増幅度のみを増大させるだけでは安定した発振を得ることが難しい。

## 【0006】

空気中における、周波数に対する圧電振動子のCI値の変化と、液体中における、前記CI値の変化を、図20に示す。空気中において148.25MHzで発振する圧電振動子のCI値は、約20Ωであるが、前記圧電振動子を液体中で148.25MHzで発振させた場合のCI値は、約300Ωとなる。従って、特許文献2の技術を適用して、空気



中で発振した回路を用いて、液体中で圧電振動子を発振させようとしても、発振することは困難である。

【0007】

また、空気中における、周波数に対する圧電振動子の位相の変化と、液体中における、前記位相の変化を、図21に示す。前記圧電振動子は、空気中においては、148.25MHz近傍において、位相が-90度から+90度へと急激に変化する。一方、液体中においては、148.25MHz近傍のみならず147.8MHzから148.6MHzまでの周波数範囲においても、位相が約-90度から約-50度であり、急激な位相変化がない。このため、特許文献2では、増幅器がインバーターによって構成してあり、増幅器の出力側における位相は、常に入力側の位相と180度異なる。換言すると、増幅器の出力側における位相と、増幅器の入力側の位相と、を同位相にすることはできない。

【0008】

本発明は、前記従来技術の欠点を解消するためになされたもので、気体中と液体中とで確実に発振できるようにすることを目的としている。

【0009】

また、本発明は、寄生発振やスプリアス発振、帰還発振などの不要な発振を確実に防止できるようにすることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0010】

図22は、発振回路の回路構成ブロック図である。発振回路は、図22に示すように増幅回路と帰還回路とからなっている。発振回路の発振条件は、増幅回路の利得（ゲイン）をA、帰還回路の帰還率を $\beta$ とすると、

【0011】

【数1】

$$\text{Re} (A \beta) \geq 1 \quad (\text{電力条件})$$

【0012】

【数2】

$$\text{Im} (A \beta) = 0 \quad (\text{周波数条件})$$

【0013】

である。ここに、 $\text{Re} (A \beta)$ 、 $\text{Im} (A \beta)$ は、複素量 $A \beta$ の実数部と虚数部である。このように、発振回路が発振するためには、電力条件である増幅度を1以上にすることと同時に、発振ループの位相を0度とすることも必要である。そこで、発明者は、増幅回路と帰還回路とに位相回路を設け、増幅回路中の位相回路によってループ全体の位相を調整することにより、帰還回路（帰還ループ）のゲインに対する影響を最小にするように発振条件の1つである位相条件を成立させるようにした。

【0014】

すなわち、本発明に係る発振回路は、インピーダンスのバッファを兼ねた複数の増幅器と、これらの増幅器の間に接続され、発振ループの位相を調整可能な第1移相回路と、入力側が前記第1移相回路の出力側を接続した前記増幅器の出力端子に接続され、出力側が前記第1移相回路の入力側を接続した前記増幅器の入力端子に接続された帰還回路と、前記帰還回路内には、発振ループの位相と利得とを調整可能な第2移相回路と、前記第2位相回路と直列に接続された圧電振動子と、を有することを特徴としている。

【0015】

このようになっている本発明は、空気などの気体中と液体中とにおける発振の位相条件と発振ループの利得条件とを両立させるため、第1移相回路によって発振ループ全体の位



相シフト量を適当な値に調整する。また、発振ループ利得が得られ、かつ安定した発振のための位相条件が得られるように、帰還回路に設けた第2移相回路のリアクタンスを調整する。そして、第1移相回路は、インピーダンス変換によるバッファ機能を有する増幅器によって第2移相回路とインピーダンス的に分離されているため、帰還回路の利得特性にほとんど影響なく閉ループ全体の位相を調整できる。これによって、圧電振動子を空気中と液体中とにおいて容易、確実に安定して発振させることができるように、発振回路の位相条件と利得条件とを満たすことができる。

【0016】

移相回路は、振動子の発振周波数において共振するタンク回路を有することができる。これにより、発振ループの増幅度を高めたとしても、寄生発振やスプリアス発振、帰還発振などの不要な発振を防ぐことができる。すなわち、タンク回路は、入力する周波数がタンク回路の共振周波数の場合、閉ループ側から見たインピーダンスが急速に増加し、入力する周波数が共振周波数からずれるとインピーダンス低下する。このため、タンク回路の共振周波数を圧電振動子の発振周波数とほぼ一致させることにより、圧電振動子の発振周波数以外の周波数における閉ループの増幅度が低下し、寄生発振、スプリアス発振、帰還発振などの不要な発振を避けることができる。

【0017】

第1移相回路と第2移相回路との少なくとも一方は、外部からの制御電圧に基づいて、発振ループの位相を調整可能な電圧制御移相回路によって構成できる。液体中における圧電振動子のインピーダンス特性は、液体の状態、圧電振動子に対する液体の濡れ性、圧電振動子表面への液体の接触具合などによって変化する。そこで、移相回路を電圧制御移相回路とすることにより、発振回路を微調整することができ、発振回路の液中における動作を安定させることができる。

【0018】

また、増幅器は、反転入力端子と非反転入力端子および反転出力端子と非反転出力端子とを有する差動増幅器であってよい。この差動増幅器は、エミッタ結合論理回路を用いることができる。そして、圧電振動子は、ATカット水晶振動子、逆メサ型ATカット水晶振動子またはSAW (Surface Acoustic Wave) 振動子のいずれかであってよい。

【0019】

そして、本発明に係る上記発振回路の調整方法は、前記発振回路の回路特性を測定し、前記圧電振動子を気相中と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振回路の発振周波数における発振ループの利得と位相とを求める利得・位相演算工程と、前記発振回路の前記第1移相回路の回路定数を変更し、前記圧電振動子を気相と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振周波数近傍であって、発振ループ位相をほぼ0にする位相調整の粗調をおこなう第1位相調整工程と、前記発振回路の前記第2移相回路の回路定数を変更し、前記圧電振動子を気相と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振周波数の近傍であって、発振ループ位相を振動子の共振周波数近傍で0にする位相調整工程と、且つ、発振ループの利得を1以上に調整する利得調整工程が両立するように調整される調整工程と、を有することを特徴としている。

【0020】

利得調整工程は、負性抵抗を圧電振動子のインピーダンスの3倍以上とすることが望ましい。これにより、圧電振動子を確実に発振させることができる。また、発振回路を調整する各工程は、発振回路をオープンループにして行なうとよい。これにより、発振回路の調整を容易に行なうことができる。

【0021】

そして、本発明に係る質量測定装置は、上記の発振回路を有することを特徴としている。これにより、上記した気体中と液体中との両方で安定して発振する質量測定装置を得ることができ、信頼性の高いQCMなどを形成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】



本発明に係る発振回路およびその調整方法並びにそれを用いた質量測定装置の最良の形態を、添付図面に従って詳細に説明する。

【0023】

図1は、第1実施形態に係る圧電振動子用発振回路のブロック図である。図1において、発振回路10は、増幅回路20と帰還回路30とを有する。増幅回路20は、インピーダンスのバッファを兼ねた複数の増幅器22、24と、第1移相回路26とから構成してある。第1移相回路26は、増幅器22、24の間に配置され、入力側が増幅器22の出力端子に接続してあり、出力側が増幅器24の入力端子に接続してある。

【0024】

また、帰還回路30は、第2移相回路32と、この第2移相回路32の入力側に接続した圧電振動子34とから構成してある。第2移相回路32は、入力側が圧電振動子34を介して増幅器24の出力端子に接続してあり、出力側が増幅器22の入力端子に接続してある。従って、発振回路10は、増幅回路20と帰還回路30とによって閉ループを形成している。そして、増幅回路20の第1移相回路26の出力側には、出力用バッファ12が増幅器24と並列に接続してある。

【0025】

なお、圧電振動子34は、第2移相回路32の出力側、つまり増幅器22の入力側に接続してもよい。また、第2移相回路32を複数の位相回路素子によって構成し、その中に圧電振動子34を設置してもよい。そして、出力用バッファ12は、増幅回路20の出力側、すなわち増幅器24の出力端子に接続してもよい。

【0026】

インピーダンスのバッファを兼ねた増幅器22、24は、トランジスタを用いた増幅回路、演算増幅器（オペアンプ）、差動増幅器、エミッタ結合論理回路（Emitter Coupled Logic：ECL）、ポジティブECL（PECL）等によって構成できる。そして、圧電振動子34としては、水晶振動子やLBO（ $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ：四ホウ素酸リチウム）振動子であってよい。また、圧電振動子34は、ATカット振動子、BTカット振動子、GTカット振動子、SCカット振動子、水晶フィルタやSAW振動子、SAWフィルタであってよい。次に、第1移相回路26と第2移相回路32の、等価回路および構成例を説明する。

第1移相回路26の等価回路も第2移相回路32の等価回路も、位相を進める進相回路または位相を遅らせる遅相回路または共振回路で構成することができる。例えば、図2（1）～（3）は、進相回路の一例を示す図である。図3（1）～（3）は、遅相回路の一例を示す図である。また、図4（1）は、直列共振回路の一例を示す図であり、図4（2）は、並列共振回路である。さらに、図5は、可変容量ダイオード40を用いた電圧制御型のリアクタンス制御回路である。このように、第1移相回路26の等価回路または第2移相回路32の等価回路は、図2から図5で示した回路のいずれかの回路で構成することができる。

【0027】

図6は、第1移相回路26の具体的構成例または第2移相回路32の具体的構成例である。図6（1）は、直列に接続した増幅器200によって構成した例である。ここで、増幅器200は1つ以上であればいくつでも良い。図6（2）は、遅延素子によって構成した例である。可変容量ダイオードやサーミスタ等の分布定数素子によって、遅延素子を構成することができる。図6（3）は、第1移相回路26または第2移相回路32を線路で構成した例である。線路としては、ストリップ線路やマイクロストリップ線路等で構成することができる。

【0028】

このように構成した第1実施形態の発振回路10においては、圧電振動子34の空気中と液体中との両方における発振条件が成り立つように、ループ位相とループ利得とを別々に調整することができる。これにより、第1実施形態の発振回路10は、空気中（気体中）と液体中とにおいて、圧電振動子34を確実に発振させることができる。また、様々な



液体の特性に対しても安定した発振を得ることができる。従って、発振回路 10 を用いることにより、化学センサ、バイオセンサ、QCMなどの信頼性の高い質量測定装置を容易に形成することができる。

【0029】

図7は、第2実施形態に係る圧電振動子用発振回路のブロック図である。図7において、発振回路50は、増幅回路20と帰還回路を構成している第2移相回路52とによって閉ループが形成されている。第2移相回路52は、移相回路部54と圧電振動子34とタンク回路56とを有している。ただし、圧電振動子34は、第2移相回路52の入力側に配置してもよい。

【0030】

移相回路部54は、前記した第1移相回路26、第2移相回路32と同様に構成することができる。そして、移相回路部54の入力側は、増幅回路20を構成している増幅器24の出力端子に接続してある。また、移相回路部54の出力側には、圧電振動子34の一方の電極が接続してある。圧電振動子34の他方の電極は、増幅回路20を構成している増幅器22の入力端子に接続してある。そして、タンク回路56は、容量素子と誘導素子との並列共振回路からなっており、一端が圧電振動子34と増幅器22の入力端子との間に接続してある。タンク回路56の他端は、コンデンサ58を介して接地してある。このタンク回路56は、予め定めた周波数、すなわち圧電振動子34の発振周波数で共振するように調整してある。コンデンサ58は、タンク回路56を直流的に浮かせて接地するものである。

【0031】

図23は、第2実施形態において、第1移相回路26と第2移相回路52の位相回路部54とを、電圧制御移相回路によって構成したもので、電圧制御型のリアクタンス制御回路を有する。これにより、圧電振動子34を液体中に浸漬したときに、液体の種類によらず安定して発振させることができる。すなわち、液体中における圧電振動子のインピーダンス特性は、液体の状態、圧電振動子に対する液体の濡れ性、圧電振動子表面への液体の接触具合などによって変化する。そこで、位相回路を図23のように電圧制御型のリアクタンス制御回路を設けることにより、発振回路50の回路定数を微調整することができる。このため、発振回路50の液中における動作を安定させることが可能で、圧電振動子34を確実に、安定して発振させることができる。なお、第1実施形態の第1移相回路26と第2移相回路32とを、電圧制御型のリアクタンス制御回路を有するように構成してもよいことはもちろんである。

【0032】

図8は、第2実施形態に係る発振回路50の具体的例を示したものである。図8において、第1移相回路26と、第2移相回路32は、可変容量ダイオードを用いた電圧制御型のリアクタンス制御回路および移相回路素子のコイルと直流カット用のコンデンサによって構成してある。なお、この具体例においては、出力用バッファ12が増幅回路20の出力端子となる増幅器24の出力端子に接続してある。

【0033】

増幅回路20の第1移相回路26は、可変容量ダイオード60と、直流成分をカットする2つのカップリングコンデンサ62、64と、移相素子であるコイル66と、2つの抵抗68、70とからなっている。すなわち、第1移相回路26は、可変容量ダイオード60のアノードがカップリングコンデンサ62を介して増幅器22の出力端子に接続してあるとともに、抵抗68を介して接地してある。また、可変容量ダイオード60のカソードは、抵抗70を介して外部から入力される制御電圧 $V_{G1}$ の入力端子に接続されるとともに、コイル66の一端が接続してある。このコイル66の他端は、カップリングコンデンサ64を介して増幅器24の入力端子に接続してある。このように、可変容量ダイオード60と2つの抵抗68、70が電圧制御型のリアクタンス制御回路を構成している。

【0034】

一方、第2移相回路32は、可変容量ダイオード74と、直流成分をカットする2つの



カップリングコンデンサ76、78と、移相素子であるコイル80と、2つの抵抗82、84とを有する。可変容量ダイオード74のアノードは、カップリングコンデンサ76の一端に接続してあるとともに、抵抗82を介して接地してある。カップリングコンデンサ76の他端は、コイル80の一端に接続してある。このコイル80の他端は、圧電振動子34の一方の電極に接続してある。また、可変容量ダイオード74のカソードは、カップリングコンデンサ78の一端に接続してあるとともに、抵抗84を介して外部から入力される制御電圧の入力端子に接続される。そして、カップリングコンデンサ78の他端は、増幅器24の出力端子に接続してある。このように、可変容量ダイオード74と2つの抵抗82、84とが電圧制御型のリアクタンス制御回路を構成している。

【0035】

圧電振動子34の電極は、カップリングコンデンサ86およびタンク回路56を介して増幅器22の入力端子に接続してある。タンク回路56は、タンク回路56のQ値を調整するための抵抗88と、コンデンサ90と、コイル92とを並列接続した並列共振回路となっている。なお、実施形態の場合、タンク回路56は、不要な発振の発生を防止するため、共振周波数の範囲がより狭くなるようにコイル92のインダクタンスとコンデンサ90の容量を設定している。

【0036】

次に、位相を変化させる回路の、周波数に対する位相変化および周波数に対する利得への影響を説明する。

【0037】

図9は、第2移相回路32だけで、位相の変化量を変化させた状態を示す図である。前記したように、圧電振動子34を空気中において発振するように発振回路50を調整したのち、圧電振動子34を液体中に浸漬すると、インピーダンスが増大すると同時に、圧電振動子34の位相があまり変化せず、発振させることができない。そこで、圧電振動子34が液体中でも発振するように、第2移相回路32だけで、帰還回路の位相量を変化させると、図9のようになる。例えば第2移相回路32を構成しているコイル80のインダクタンスを調整し、帰還回路の位相を遅らせていくと、位相の変化が曲線Aから曲線B、曲線C、曲線Dそして曲線Eのように大きくなる。帰還回路の位相を遅らせていくと、位相の変化する周波数の幅が広がることになる。このため、圧電振動子34の発振周波数から離れた周波数においても発振するようになる。従って、圧電振動子34に流れる電流が小さくなり、発振している周波数の安定性が悪化する。すなわち、微少な質量を測定する装置に使用した場合に、S/N比が悪くなり、測定精度が低下する。

【0038】

図10は、第2移相回路32だけで、位相を変化させたときの利得の変化を示す図である。第2位相回路32によって位相の変化量を大きくすると、帰還回路のインピーダンスも変化するために、帰還回路の利得も大きくなる。このため、不要な発振が生じやすくなって好ましくない。すなわち、位相の変化を大きくするために位相調整用コイルを用いると、圧電振動子34の電極間容量 $C_0$ と位相調整用コイルとによる直列共振を起こす周波数が発生する。そして、この周波数における利得が、発振回路全体の利得が大きくなることによって1より大きくなる場合がある。この場合、機械振動でない位相調整用コイルと電極間容量 $C_0$ と直列共振は、発振の開始時間が短いため、圧電振動子34の発振より早く発振を開始する場合がある。また、位相の変化を大きくするためにインダクタンスの大きな位相調整用コイルを使用すると、このコイルと電極間容量 $C_0$ と直列共振周波数が低くなって圧電振動子34の発振周波数に近くなる。従って、位相調整用コイルと電極間容量 $C_0$ との直列共振回路の利得が大きくなりやすくなり、圧電振動子34が発振する前に位相調整用コイルと電極間容量 $C_0$ とによる直列共振が発生する。なお、図9に示した位相の変化は、比較を容易にするために、共振周波数からある程度離れた周波数における位相を0度として合わせている。

【0039】

このような不具合を解消するため、本発明の発振回路10および発振回路50は、イン



ピーダンスのバッファを兼ねた増幅器22、24によって、第2移相回路32とインピーダンス的に分離させた第1移相回路26により、発振回路50のループ全体の位相を調整するようにしている。すなわち、帰還回路に設けた第2移相回路32によって圧電振動子34が、気中と液中とで発振できるように位相を調整するには限界がある。そこで、増幅回路20に設けた第1移相回路26により、全体の移相条件を適当な周波数のところに移動させる。そして、第2移相回路26によって所定の発振周波数における利得が得られ、また位相を0度に調整する。これにより、測定装置に使用した場合にS/N比のよい装置を得ることができる。また、不要な発振の発生を防ぐことができる。

【0040】

図11は、第1移相回路26による、発振回路10または発振回路50のループ全体の位相変化を示している。同図に示されているように、第1移相回路26のリアクタンスを調整して位相の変化量を大きくしても、位相の変化する周波数の幅が広がることがない。従って、第1移相回路26によって位相を変化させたとしても、圧電振動子34の発振周波数から離れた周波数における発振を生ずることがなく、発振している周波数の安定化を図りつつ、発振回路50の発振の位相条件を満たすことができる。そして、第1移相回路26によって位相を変化させた場合、帰還ループの利得には変化を生じないようにできる。このため、第1移相回路26によって発振ループ全体の位相条件を適当な周波数のところに移動させることができる。これにより、第2移相回路52によって、空気中と液体中とにおいて発振の位相条件の調整を容易に行なうことが可能となる。従って、空気中と液体中とで圧電振動子34を安定して発振させることができる。

【0041】

また、第2実施形態の発振回路50においては、第2移相回路52にタンク回路56を設けたことにより、圧電振動子34の電極間容量 $C_0$ とコイルとの直列共振を防止できるだけでなく、寄生発振や圧電振動子34のスプリング発振、回路上の帰還発振などの望ましくない不要な発振を防止することができる。すなわち、増幅回路20と第2移相回路52とからなる閉ループの利得は、タンク回路56によって図12のように変化する。このとき、発振回路50のループ側からタンク回路56を見た場合、タンク回路56が共振周波数で共振すると、タンク回路56のインピーダンスは非常に大きくなる。このため、閉ループのタンク回路56による利得の損失は0である。しかし、タンク回路56に入力する交流信号が共振状態からずれると、閉ループ側から見たタンク回路56のインピーダンスが急激に低下し、共振周波数からはずれた交流信号（電流）がコンデンサ58を介して接地側に流れ、閉ループの利得が低下する。従って、タンク回路56の共振周波数を圧電振動子34の発振周波数と一致させることにより、発振周波数以外の周波数における閉ループの利得が低下し、不要な発振を抑制することができる。

【0042】

図13は、発振回路50によって圧電振動子34を空気中と液体中とで発振させるための調整方法を示すフローチャートである。なお、図13は、最初に空気中で調整したのち、圧電振動子34を液体中に浸漬した状態で調整して、両方において確実に発振するように調整する手順を示したものである。

【0043】

まず、発振回路50の閉ループの一部を開放してオープンループにする。例えば、発振回路50のタンク回路56と増幅回路20との間を切り離してオープンループにし、この切り離れた部分にネットワークアナライザなどの測定器を接続する。そして、測定器によってオープンループの回路特性を測定し、オープンループの利得、位相を算出する（ステップ100）。すなわち、オープンループの状態では圧電振動子34を気中と液中とで励振させ、それぞれの励振周波数を測定する。そして、発振させたい所望の周波数近傍における利得の変化と位相の変化とを求める利得・位相演算工程を行なう。このオープンループにおける利得と位相の算出は、閉ループとしたときの位相に合わせるため、オープンループと閉ループとにおけるインピーダンスの相違を考慮して補正を行なう。

【0044】



図14は、発振回路をオープンループにして位相の変化を測定した一例を示したものである。この図において、位相変化の曲線が0度と交差する周波数において発振回路が発振する可能性がある。そこで、次に、ステップ102に示したように、位相条件1を満足するか否かを判断する。この位相条件1は、圧電振動子34の共振（発振）周波数（主振動）近傍であって、圧電振動子34を気中と液中と発振させたときのそれぞれにおいて、主振動の周波数近傍でなく、主振動の周波数より高い周波数範囲で位相が0で利得が1以下となるように位相条件を調整する。位相条件1を満足していない場合、ステップ104に進んで第1移相調整工程を行なう。この第1移相調整工程は、第1移相回路26による位相量の算出を行ない、閉ループにしたときに位相条件1を満たすように、発振回路のオープンループの状態第1移相回路26の回路定数を変更する。例えば、図8に示したコイル66あるいは容量64などのインピーダンスを変える。これにより、図14の矢印115に示したように、位相の変化を示す曲線が上下方向に移動し、所望の周波数における位相を調整することが可能となる。そして、ステップ100に戻って再びオープンループの回路特性を測定し、位相条件1が満たされたか否かの判断を行なう（ステップ102）。

【0045】

位相条件1が満たされている場合、ステップ102からステップ106に進んで位相条件2が満たされているか否かを判断する。この位相条件2は、圧電振動子34を気中と液中と発振させたときのそれぞれにおいて、圧電振動子34の共振周波数近傍の位相が大きく変化する周波数範囲において、所望する周波数で位相がほぼ0度になっていることである。この位相条件2を満足していない場合、第2移相調整工程を行なう。すなわち、第2移相回路52の位相量を算出し、閉ループのときに移相条件2を満足するように、発振回路をオープンループにした状態で第2移相回路52の回路定数を変更する（ステップ108）。すなわち、例えば図8に示した移相回路部54のコイル80のインダクタンスを変える。そして、ステップ100に戻り、ステップ100～ステップ106の処理を行なう。

【0046】

ステップ106において位相条件2を満足したならば、利得条件2を満足するか否かを判断する（ステップ110）。利得条件2は、位相条件1と位相条件2とを満足した状態において、閉ループの利得が1以上となっていることである。そして、ステップ110において利得条件2が満足されていない場合、利得調整工程であるステップ108の処理を行なったのち、ステップ100に戻ってステップ100～ステップ110の処理を再度行なう。この利得の調整においては、圧電振動子34の発振の確実性を確保するために、負性抵抗が圧電振動子34のインピーダンスの3倍程度以上となるようにする。ステップ112において利得条件2を満足したならば、ステップ110からステップ112に進んで動作の確認を行なう。すなわち、発振回路50を閉ループにし、実際に空気中と液体中とで発振動作をさせる。これにより、圧電振動子34を空気中と液体中とにおいて確実に発振させることができる。従って、実施形態の発振回路を用いることにより、信頼性の高い質量測定装置を得ることができる。図24は、このようにして発振回路を調整したときの、気中と液中とにおける発振の状態を示したものである。

【0047】

なお、圧電振動子34は、液体中に浸漬した場合に、液体の種類や状態などによって特性が種々に変化する。そこで、移相回路に電圧調整のリアクタンス制御回路を用いることにより、圧電振動子34を容易に安定して発振させ、発振周波数を安定させることができる。例えば、図25に示したように、可変容量ダイオード60、74のカソードと電圧入力端子との間に設けた抵抗70、84を可変抵抗にする。なお、可変容量ダイオード60、74のカソードを接続した抵抗202、204は、制御電圧 $V_{c1}$ 、 $V_{c2}$ を分割するための抵抗である。そして、例えば発振回路の調整を行なったときの制御電圧 $V_{c1}$ と $V_{c2}$ との値と、可変抵抗70、84の抵抗値とを初期電圧として設定しておく。そして、圧電振動子34を任意の液体に浸漬したときに、液体中での特性変化に対応するように、可変抵抗70、84の抵抗値を設定値を中心として調整する。これにより、任意の液体中での発振



動作が安定し、測定装置に使用した場合にS/Nのよい測定装置を得ることができる。  
なお、第1移相回路26は、複数の増幅器を直列接続して構成してもよく、遅延素子による時間的なディレイ回路、遅延線路などであってもよい。また、インピーダンスのバッファを兼ねた増幅器は3つ以上でもよい。

【0048】

図15は、第3実施形態に係る発振回路のブロック図であって、第1移相回路26を複数の増幅器によって構成した例を示したものである。この実施形態の発振回路120は、増幅回路20に設けた第1移相回路26が2つの増幅器122、124によって形成してある。これらの増幅器122、124は、増幅器22、24と同様に、トランジスタによる増幅回路、演算増幅器、差動増幅器、ECL、PECL等であってよい。そして、発振回路120は、帰還回路が第2移相回路32と圧電発振子34によって構成してある。第2移相回路32は、入力側が増幅器24の出力端子に接続してあり、出力側が圧電振動子34を介して増幅器22の入力端子に接続してある。また、圧電振動子34と増幅器22との間には、タンク回路56が接続してある。このタンク回路56は、またコンデンサ58を介して接地してある。

【0049】

このように構成した発振回路120は、第1移相回路26を構成している複数の増幅器122、124によって閉ループ全体の位相を調整する。そして、この実施形態の発振回路120においても、前記実施形態の発振回路と同様の効果を得ることができる。なお、第1移相回路26を構成する増幅器は、3つ以上であってもよい。

【0050】

図16は、第4実施形態に係る発振回路のブロック図である。この実施形態に係る発振回路130は、増幅回路20を構成しているインピーダンスのバッファを兼ねた増幅器132、134が反転入力端子と非反転入力端子、および反転出力端子と非反転出力端子とを有している。さらに、出力用バッファ140が、反転入力端子と非反転入力端子、反転出力端子と非反転出力端子とを有する増幅器によって構成してある。

【0051】

増幅回路20を構成している増幅器132の非反転入力端子には、圧電振動子34の他方の電極と、タンク回路56の一端とが接続してある。また、増幅器132の反転入力端子は、コンデンサ136を介して接地してあるとともに、タンク回路56の他端が接続してある。第1移相回路26の入力側は、増幅器132の非反転出力端子と反転出力端子とのそれぞれに接続してある。また、第1移相回路26の出力側は、増幅器134の非反転入力端子と反転入力端子、および出力用バッファ140の非反転入力端子と反転入力端子とに接続してある。そして、増幅器134の非反転出力端子は、第2移相回路32の入力側に接続してある。発振回路130の出力は、出力用バッファ140の非反転出力端子から取り出される。

【0052】

図17は、第4実施形態に係る発振回路130の具体的例を示したものである。この具体例においては、帰還回路を構成している第2移相回路32が、図7に示した第2実施形態の第2移相回路32の移相回路部54と同様に構成してある。また、タンク回路56は、抵抗88とコンデンサ90とコイル92との並列回路によって構成してある。そして、増幅回路20を構成している第1移相回路26は、前記と同様に容量素子、誘導素子、可変容量ダイオード、遅延素子、演算増幅器、差動増幅器などによって構成することができる。また、差動増幅器は、ECLまたはPECLであってもよい。

【0053】

図18は、上記の各実施形態のいずれかに係る発振回路を備えた質量測定装置の断面図である。この質量測定装置150は、発振回路を収納したケース152を有する。ケース152は、箱状のケース本体154とカバー156とからなっている。カバー156は、平板から形成してあって、接着剤158によってケース本体154の開口部に水密に固着してあり、試料液体がケース内に浸入しないようにしてある。また、カバー156には、



圧電振動子である圧電振動片160を露出させる窓162が形成してある。

【0054】

圧電振動片160は、実施形態の場合、ATカット圧電振動板をいわゆる逆メサ型に加工して例えば150MHz程度の高周波発振ができるようにしてある。そして、圧電振動片160は、逆メサ部の両面に励振電極164(164a、64b)を有している。一方の励振電極164aには、試料液体中の検出対象物質を付着させるための図示しない感応膜が設けてある。カバー156の窓162は、励振電極164aに設けた感応膜を露出させ、試料液体に接触させる。そして、圧電振動片160は、カバー156の内側面における窓162の周囲に導電性接着剤166によって固着してある。

【0055】

圧電振動片160は、各励振電極164と一体に形成した接続電極168(168a、168b)を有する。一方、カバー156の内側面には、導電性材料により形成した回路パターン部170が設けてあるとともに、接着剤172によってICチップ174が固着してある。このICチップ174は、前記した発振回路(例えば、図7に示した発振回路50)の増幅器22、24や出力用バッファ24などを集積回路化したものである。そして、圧電振動片160の一方の接続電極168aは、回路パターン部170に導電性接着剤166を介して電氣的に接続してある。この回路パターン部170には、配線パターンが形成してあるとともに、本図に図示しない第1移相回路26のコイル66や、第2移相回路52を構成している移相回路部54のコイル80などが配設してある。回路パターン部170は、金などからなる複数のワイヤ176によってICチップ174に電氣的に接続してある。また、ICチップ174には、圧電振動片160の他方の接続電極168bがワイヤ176によって電氣的に接続してある。さらに、ケース本体154は、側面に貫通孔178を有し、この貫通孔178にケーブル180が接続してある。ケーブル180は、電源線や信号出力線などが一体化されており、これらの線の先端がICチップ174に接続してある。

【0056】

このようになっている質量測定装置150は、図19に示したように、ケーブル180の信号出力線が周波数カウンタ190に接続される。この周波数カウンタ190は、出力側がコンピュータ192に接続してあり、計数した質量測定装置150の発振周波数をコンピュータ192に入力する。そして、質量測定装置150は、試料容器194に貯留してある試料液体196に浸漬される。試料液体196中の検出対象物質は、圧電振動片160の励振電極164aに設けた感応膜に結合する。コンピュータ192は、周波数カウンタ190の出力する検出対象物質が結合した際における圧電振動片160の発振周波数を、基準の発振周波数(検出対象物が結合する前の発振周波数)と比較し、予め与えられたアルゴリズムに従って感応膜(励振電極164a)に結合した物質の質量や濃度などを演算して求める。なお、発振回路は、圧電振動片160のみをケース152の内部に収納するようにしてもよい。このようにすると、ケース152を小さくすることができ、より微小な部分への配置や挿入が可能となる。

【0057】

なお、質量測定装置150による液中測定の方法は、次のようにして行なう。まず、試料容器194に検出対象物質を含まない液体(溶媒や溶液)を貯留し、その液体に質量測定装置150を浸漬する。そして、液体中において圧電振動子160の共振が安定するのを待つ。共振が安定したら、この共振周波数をコンピュータ192に基準周波数として記憶させる。その後、検出対象物質を含む試料(液体)を試料容器194中の液体に所定量添加して拡散させ、添加した試料中の検出対象物質を圧電振動片160の感応膜22に結合させる。

【0058】

なお、次のように測定してもよい。まず、試料容器194を2つ用意しておき、一方には検出対象物を含まない液体(例えば、水またはアルコール)のみを入れ、他方には水またはアルコールに検出対象物を溶解または分散させた試料を入れる。そして、一方の容器



において圧電振動片 1 6 0 の液中における基準周波数（発振周波数）を求める。その後、質量測定装置 1 5 0 を他方の容器の試料中に浸漬して検出対象物の測定を行なう。このようにすることにより、検出対象物の濃度などをより正確、簡易に求めることができる。

【0059】

また、感応膜 2 2 に予め検出対象物質を付着または反応させた質量測定装置 1 5 0 を水またはアルコールなどの液体に浸漬する。その後、検出対象物質を脱着または分解させる薬品を液体に添加し、検出対象物質を感応膜から除去する。これにより、感応膜と結合していた物質の量などを測定することができる。

【0060】

なお、前記各実施形態の発振回路は、例えば圧電振動子が小型化されるのに伴って圧電振動子の電極間容量  $C_0$  が大きくなり、圧電振動子における位相の変化が小さい場合にも適用することができる。

【0061】

また、上記した各実施形態に係る発振回路を、液体中の特定物質を検出する質量測定装置 1 5 0 に適用した場合について説明したが、本発明に係る発振回路は、各種の微少な物理量を測定する測定装置に使用することができる。例えば、においセンサや水分センサ、メッキ膜厚モニタ、イオンセンサ、粘度／密度計などとして使用することも可能である。まず、においセンサとして使用する場合には、におい物質を選択的に吸着する感応膜を励振電極の表面に塗布すればよい。また、水分センサとして使用する場合には吸水膜を塗布すればよい（特開平 7 - 2 0 9 1 6 5 号公報参照）。

【0062】

一方、メッキ膜厚モニタとして使用する場合には、メッキ対象物とともに質量測定用圧電振動子をメッキ液中に浸漬する。この場合、励振電極の表面に付着したメッキ膜厚の増加とともに、圧電振動片の共振周波数が低下する。したがって、メッキ対象物のメッキ膜厚を検知することができる。また、イオンセンサとして使用する場合には、感応膜としてイオン吸着物質を塗布すればよい。そして、感応膜にイオンを吸着させて圧電振動片の周波数変化量を測定することにより、検体溶液中のイオンの定量分析を行うことができる。なお、においセンサのように、気中において使用する場合には、圧電振動片 1 6 0 の両面の励振電極 1 6 4 に感応膜を設けることが望ましい。この場合、圧電振動片 1 6 0 の両面を露出させてにおい物質と接触するようにする。これにより、圧電振動片 1 6 0 に結合するにおい物質の量を多くすることができ、検出感度が向上して測定精度を上げることができる。

【0063】

一方、本発明に係る質量測定装置により、質量以外の微少物理量を測定することも可能である。以下に、本発明に係る質量測定装置を、粘度／密度計として使用する場合の測定原理を説明する。AT カット圧電振動子は、その表面に沿って厚み滑り振動する。この AT カット圧電振動子を液体中に浸漬して発振させると、液体との間にせん断応力を生じる。そこで、ニュートンの粘性の式と水晶振動子の振動の式とから、液体の粘性による周波数変化量を表す次式が導かれる。

【0064】

【数3】

$$df = -f_0^{\frac{3}{2}} \cdot \left( \frac{\eta \rho_L}{\pi \mu \rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0065】

ただし、 $df$  は圧電振動片の共振周波数の変化量、 $f_0$  は圧電振動片の共振周波数の初期値、 $\eta$  は液体の粘度、 $\rho_L$  は液体の密度、 $\mu$  は圧電材料の弾性率である。上式において、液体の粘度  $\eta$  または液体の密度  $\rho_L$  のいずれか一方を一定とすれば、いずれか他方と共振周波数の変化量とが一对一に対応する。したがって、共振周波数の変化量を測定することにより、液体の粘度変化または液体の密度変化を求めることができる。



## 【図面の簡単な説明】

【0066】

- 【図1】第1実施形態に係る圧電振動子用発振回路のブロック図。
- 【図2】実施形態の移相回路を構成する進相回路の一例を示す図。
- 【図3】実施形態の移相回路を構成する遅相回路の一例を示す図。
- 【図4】実施形態の移相回路を構成する共振回路の一例を示す図。
- 【図5】実施形態の移相回路を構成するリアクタンス制御回路の一例を示す図。
- 【図6】実施形態に係る第1移相回路の構成例を示す図。
- 【図7】第2実施形態に係る圧電振動子用発振回路のブロック図。
- 【図8】第2実施形態の具体例を示す回路図。
- 【図9】帰還回路の移相回路により位相を変化させた状態を示す図。
- 【図10】帰還回路の移相回路により位相を変化させたときの利得の変化を示す図。
- 【図11】増幅回路の移相回路により位相を変化させた状態を示す図。
- 【図12】タンク回路の共振周波数と利得との関係を示す図。
- 【図13】実施形態に係る発振回路の調整方法のフローチャート。
- 【図14】発振回路における位相変化の測定結果の一例を示す図。
- 【図15】第3実施形態に係る発振回路のブロック図。
- 【図16】第4実施形態に係る発振回路のブロック図。
- 【図17】第4実施形態の具体例を示す回路図。
- 【図18】実施の形態に係る質量測定装置の断面図。
- 【図19】質量測定装置の使用状態の一例を示す図。
- 【図20】圧電振動子の空気中と液体中とでのC I 値の変化を示す図。
- 【図21】圧電振動子の空気中と液体中とでの位相の変化を示す図。
- 【図22】発振回路の回路構成ブロック図。
- 【図23】リアクタンス制御回路を用いた実施形態の説明図。
- 【図24】調整後における空気中と液体中との発振状態を示す図。
- 【図25】液体中における特性変化に対応する発振回路の説明図。

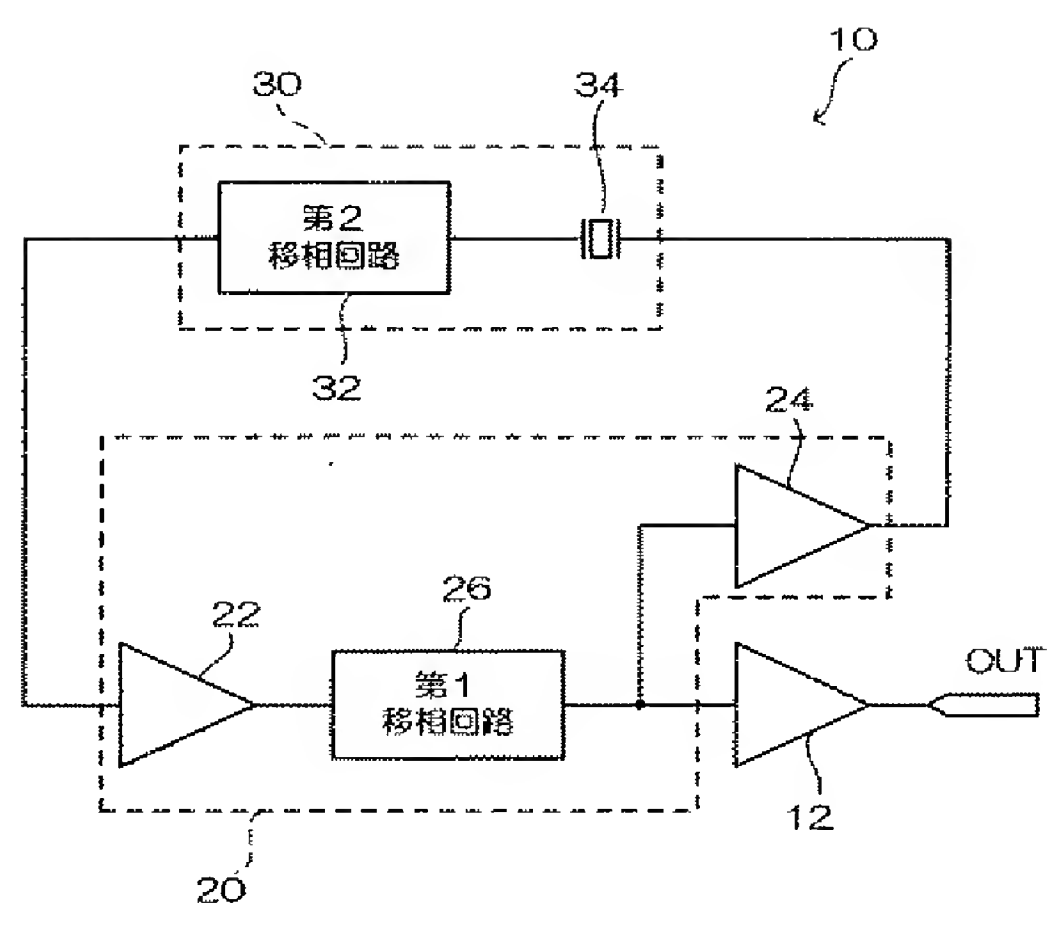
## 【符号の説明】

【0067】

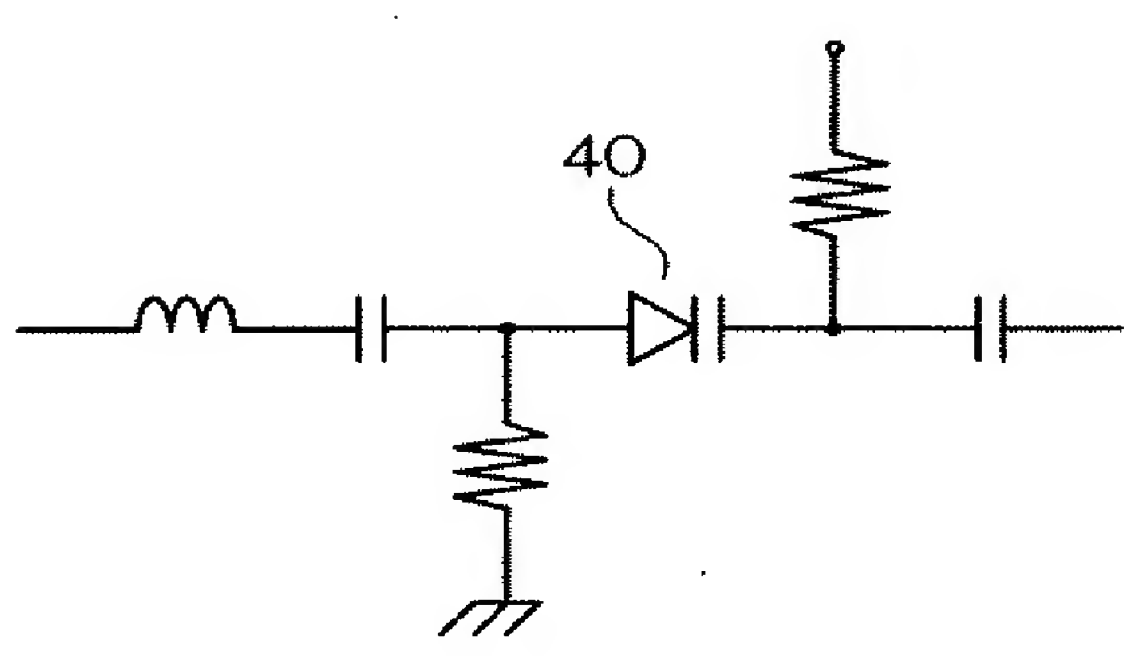
- 1 0、5 0、1 2 0、1 3 0…発振回路
- 2 0…増幅回路
- 2 2、2 4、1 3 2、1 3 4…増幅器
- 2 6…第1移相回路
- 3 0、5 2…帰還回路
- 3 2、5 2…第2移相回路
- 3 4…圧電振動子
- 5 6…タンク回路
- 1 5 0…質量測定装置
- 1 6 0…圧電振動子
- 1 7 0…回路パターン部
- 1 7 4…I Cチップ



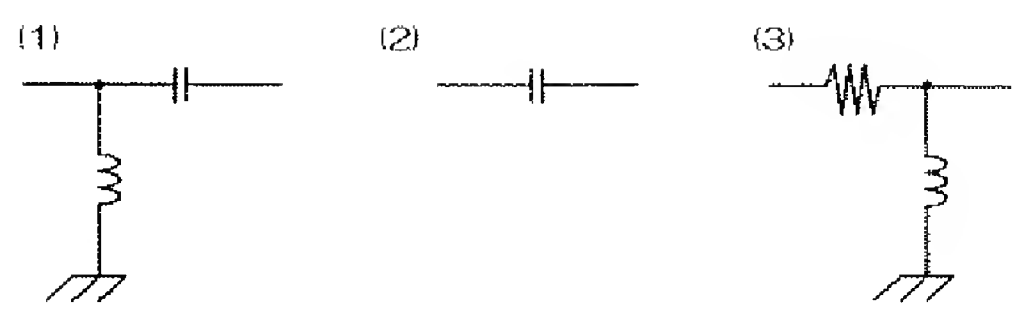
【図1】



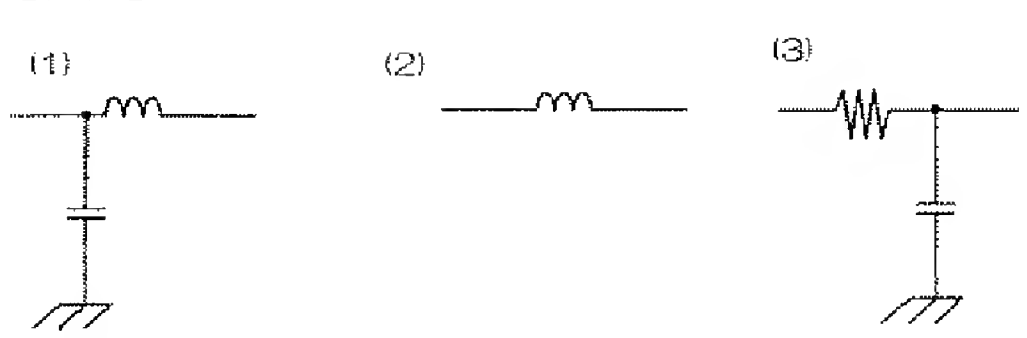
【図5】



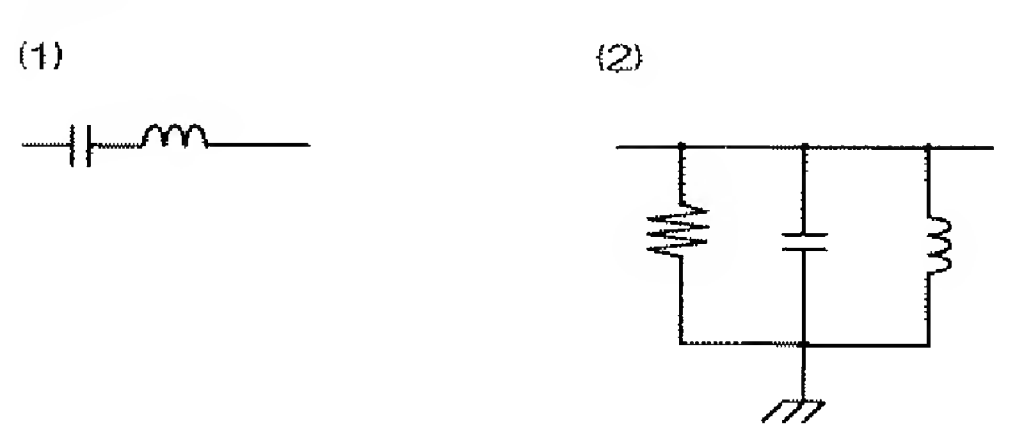
【図2】



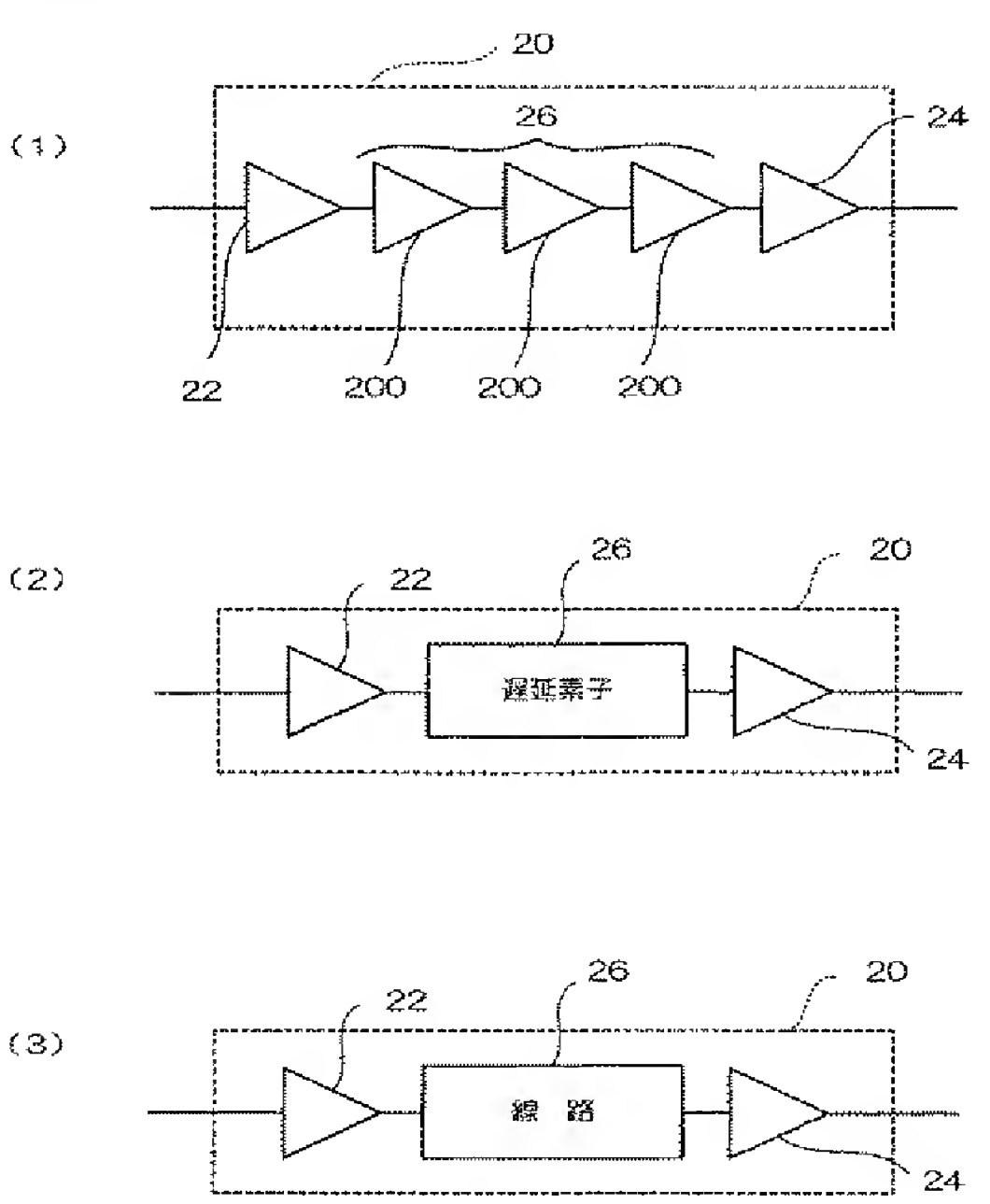
【図3】



【図4】

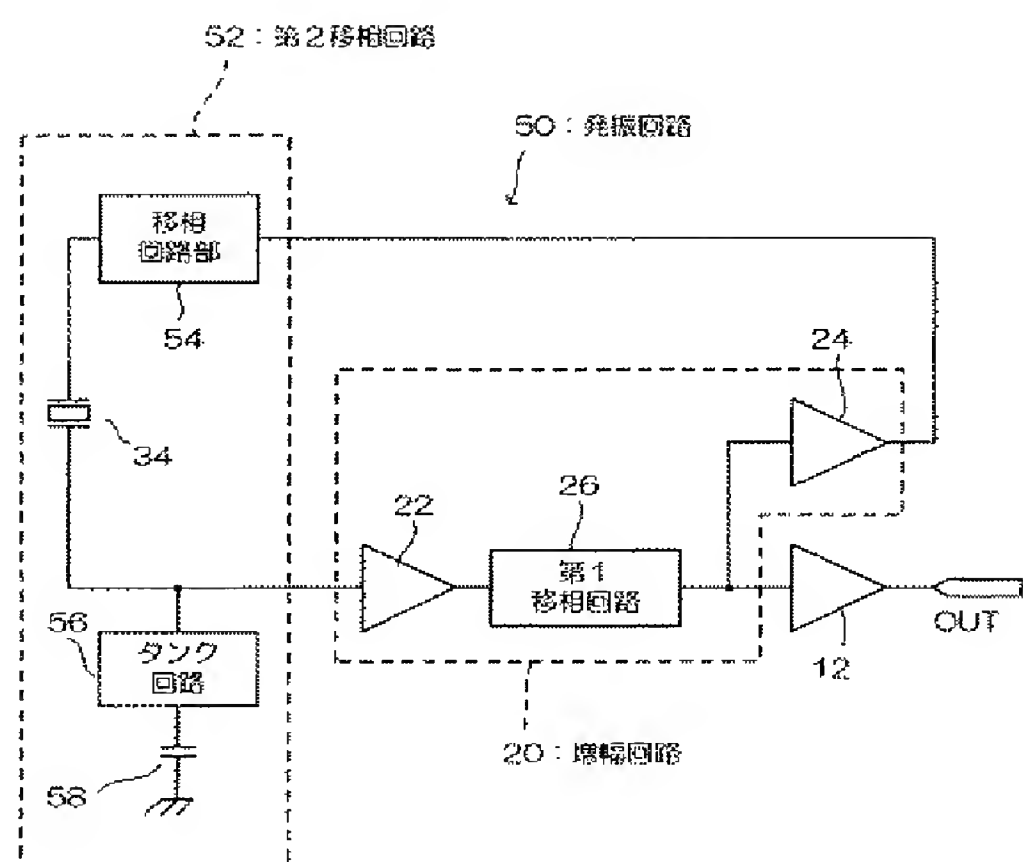


【図6】

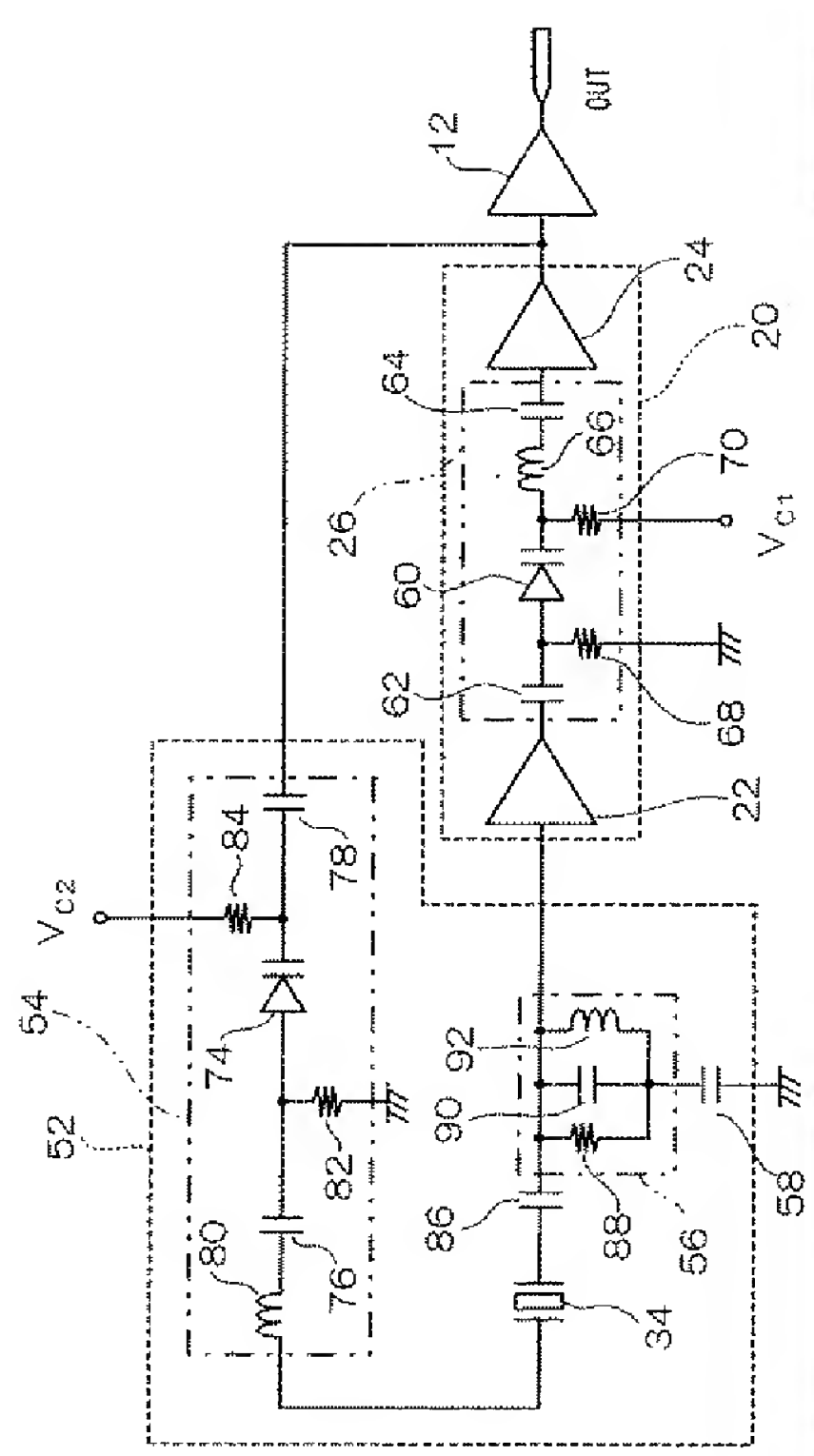




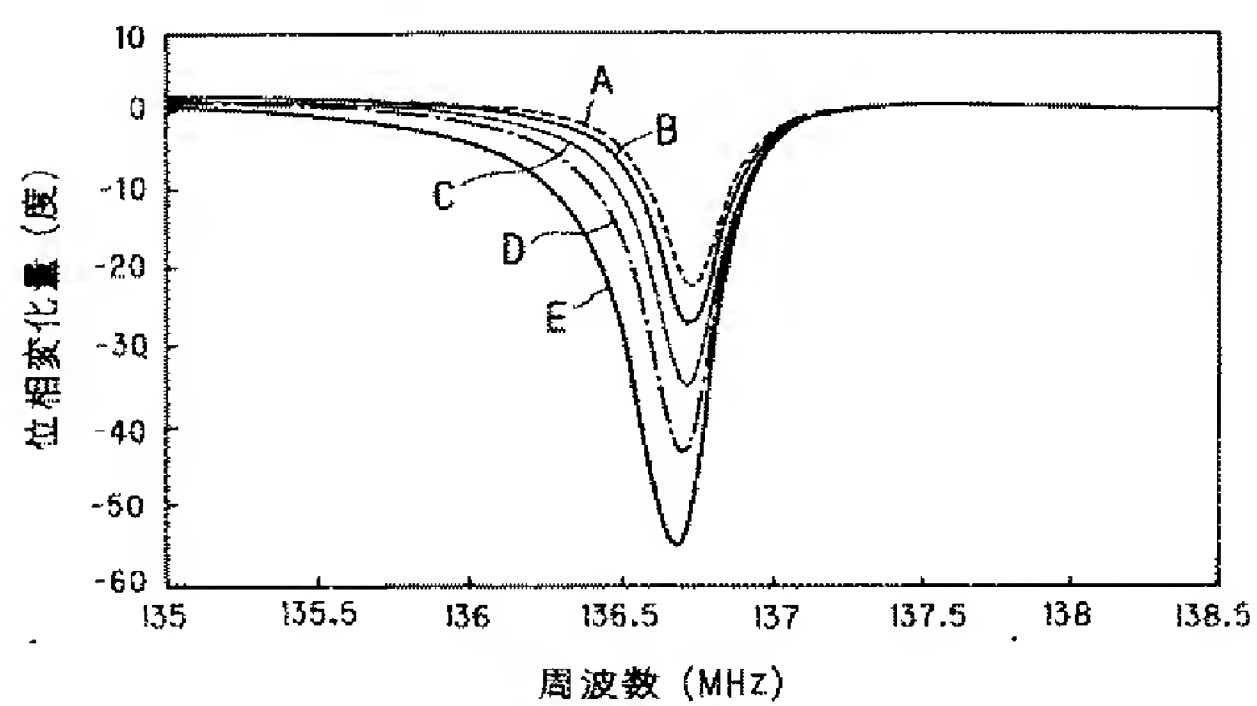
【図7】



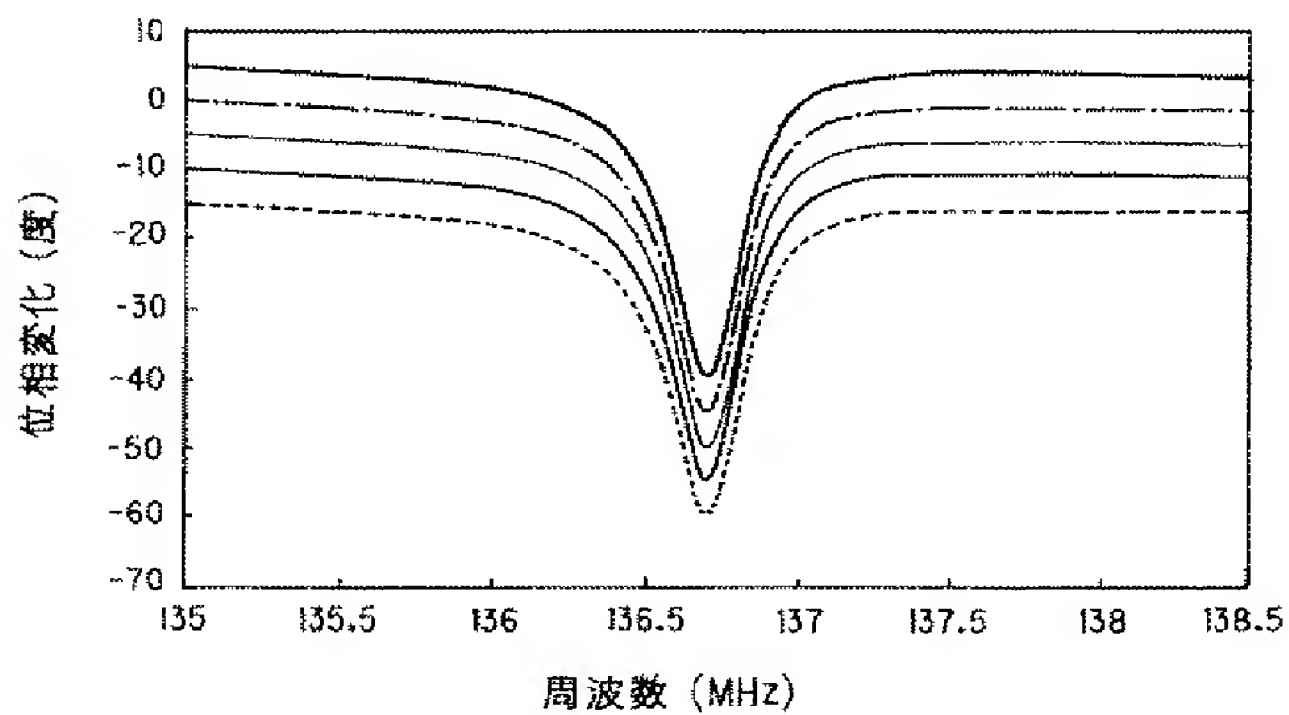
【図8】



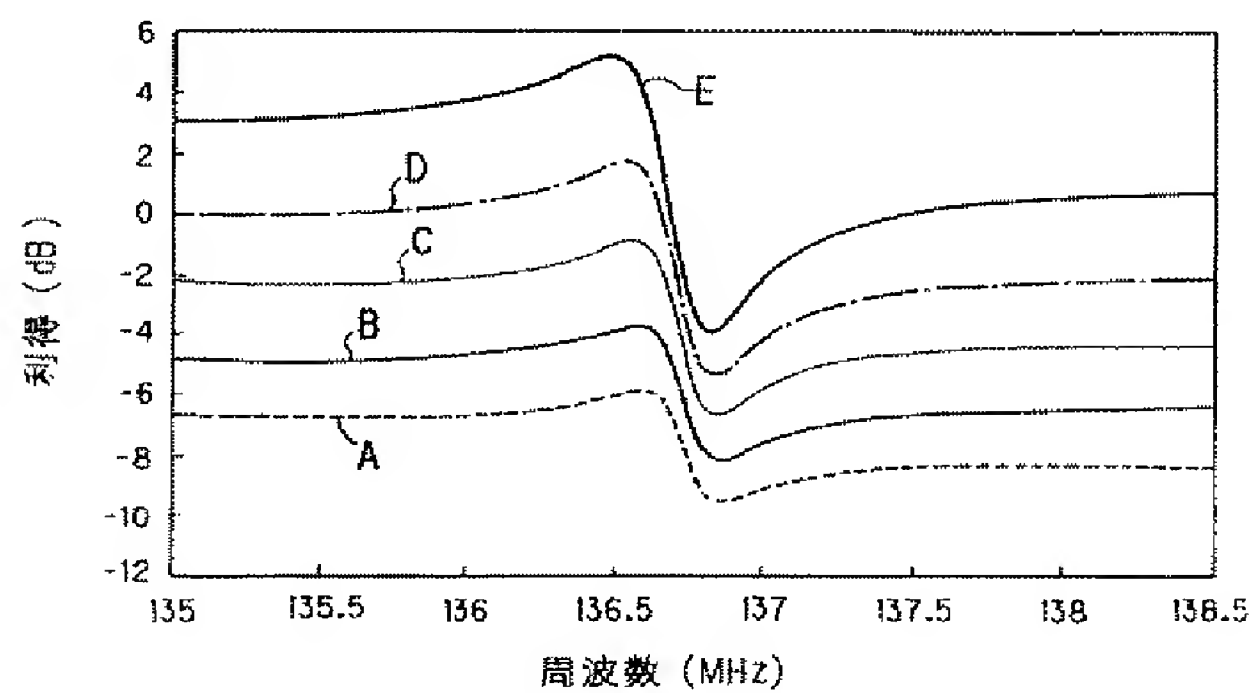
【図9】



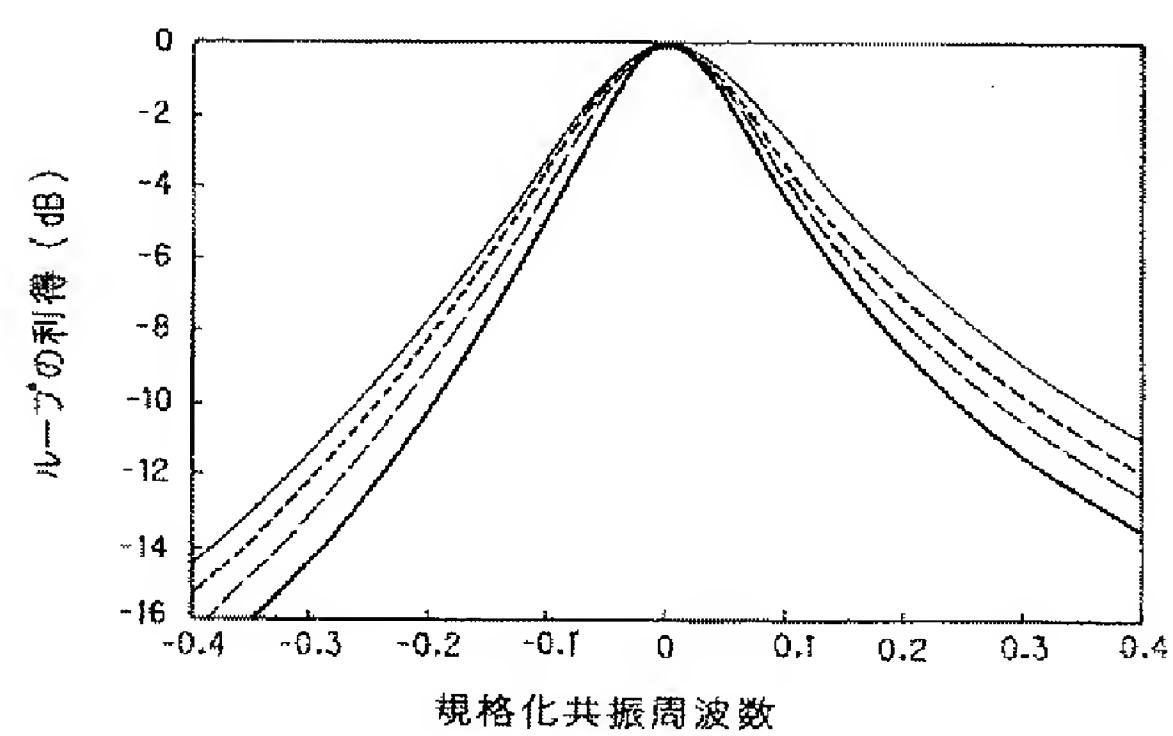
【図11】



【図10】

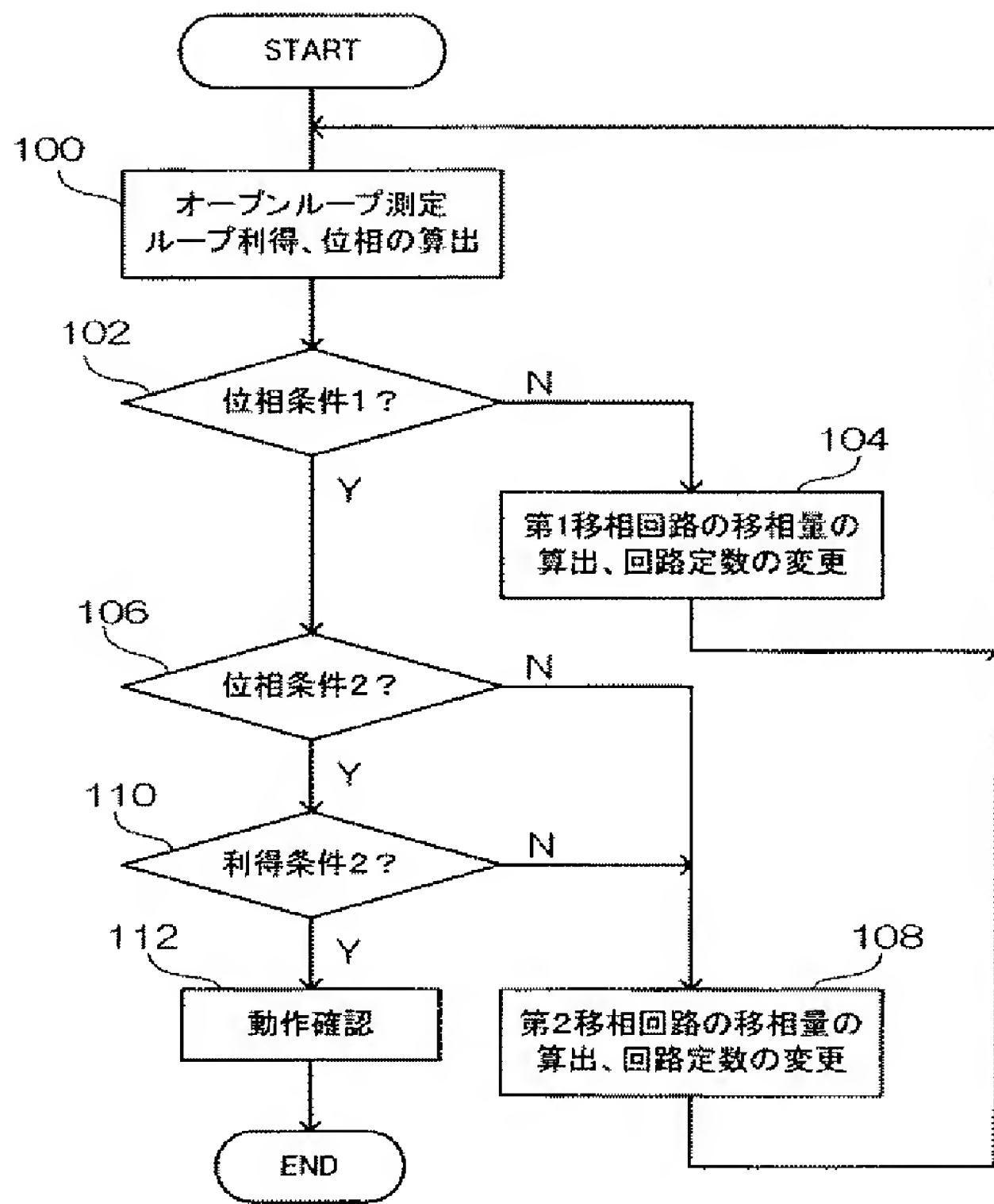


【図12】

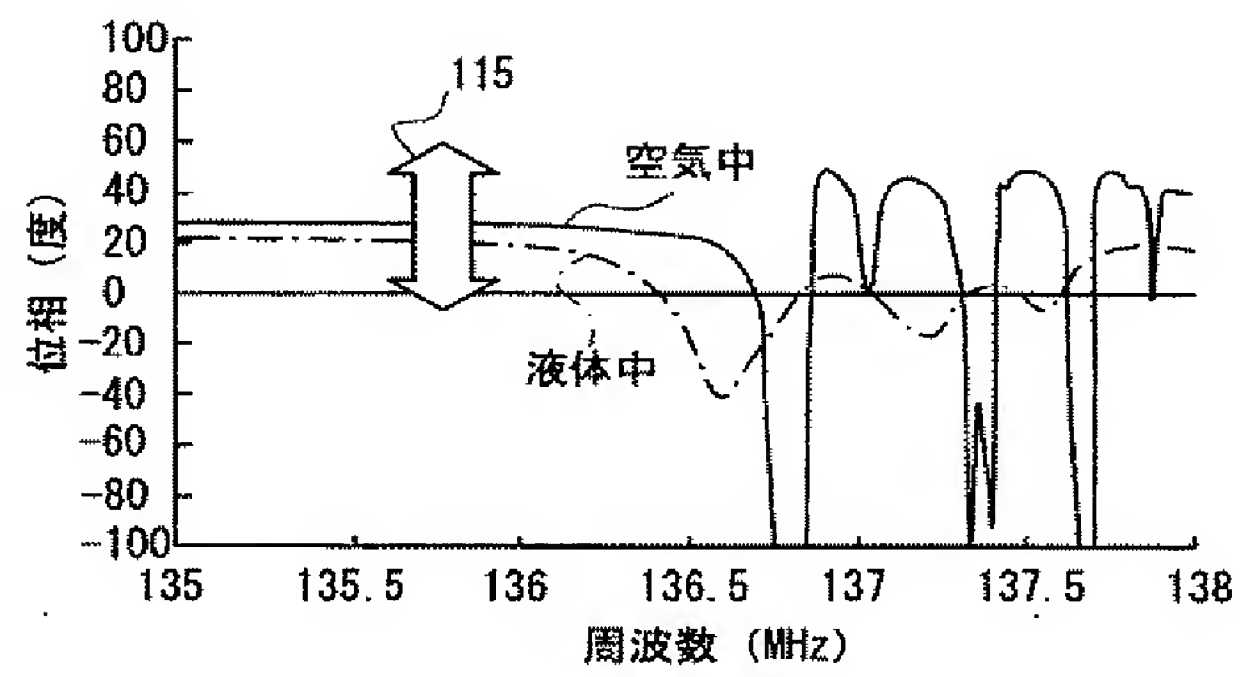




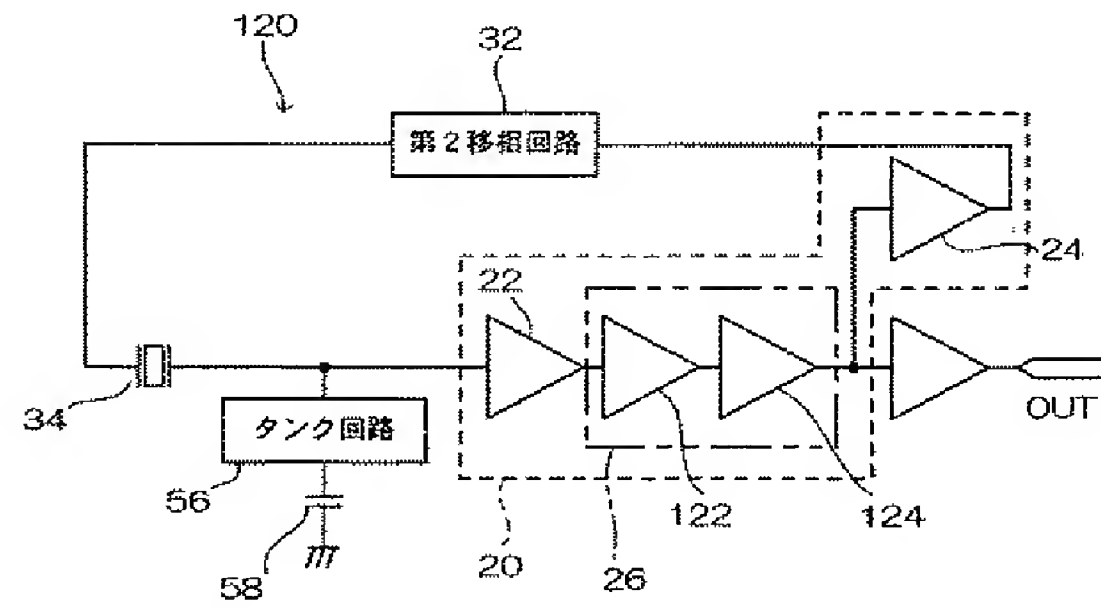
【図13】



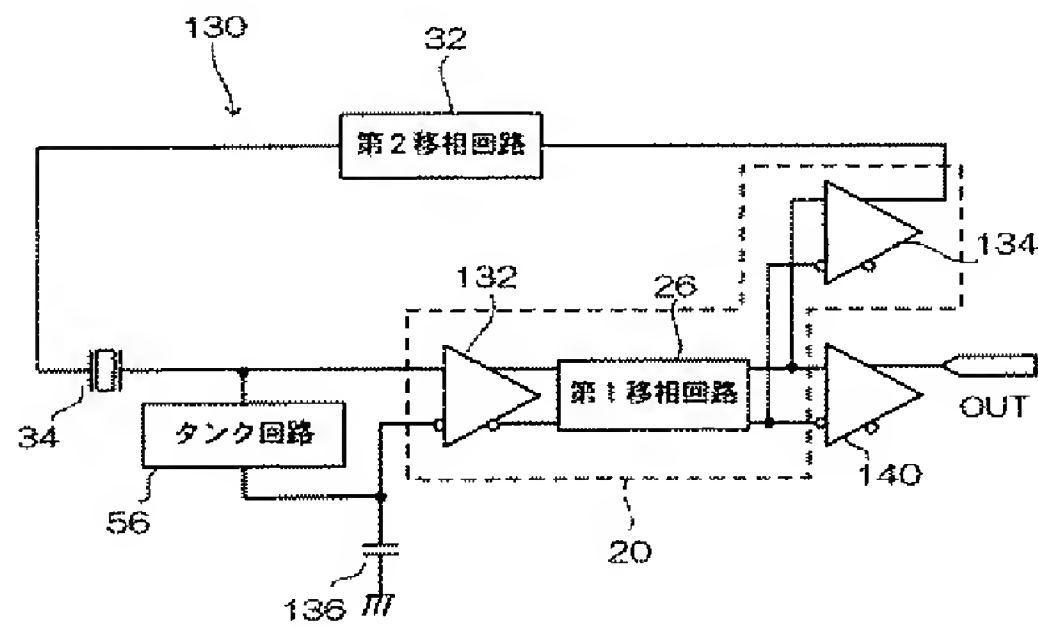
【図14】



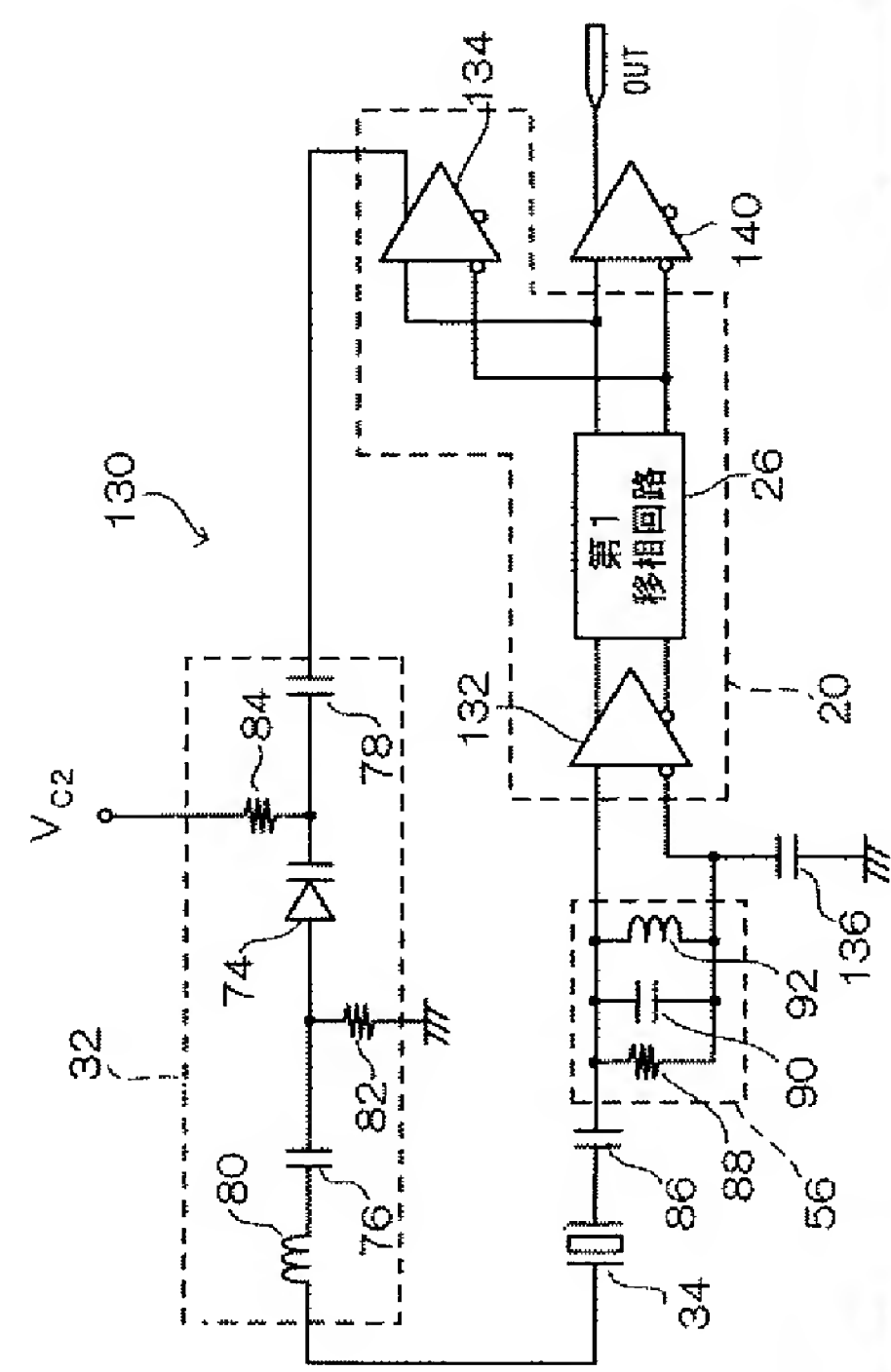
【図15】



【図16】

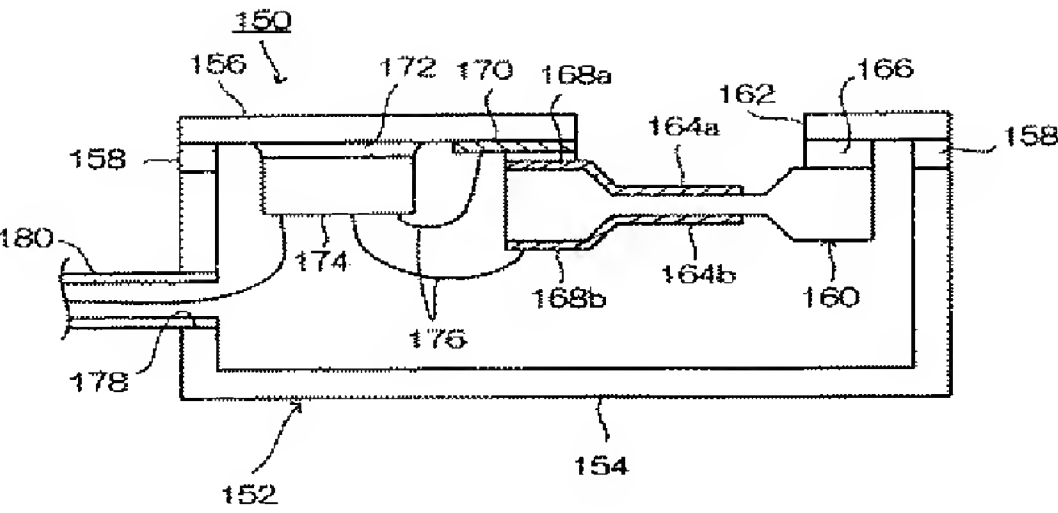


【図17】

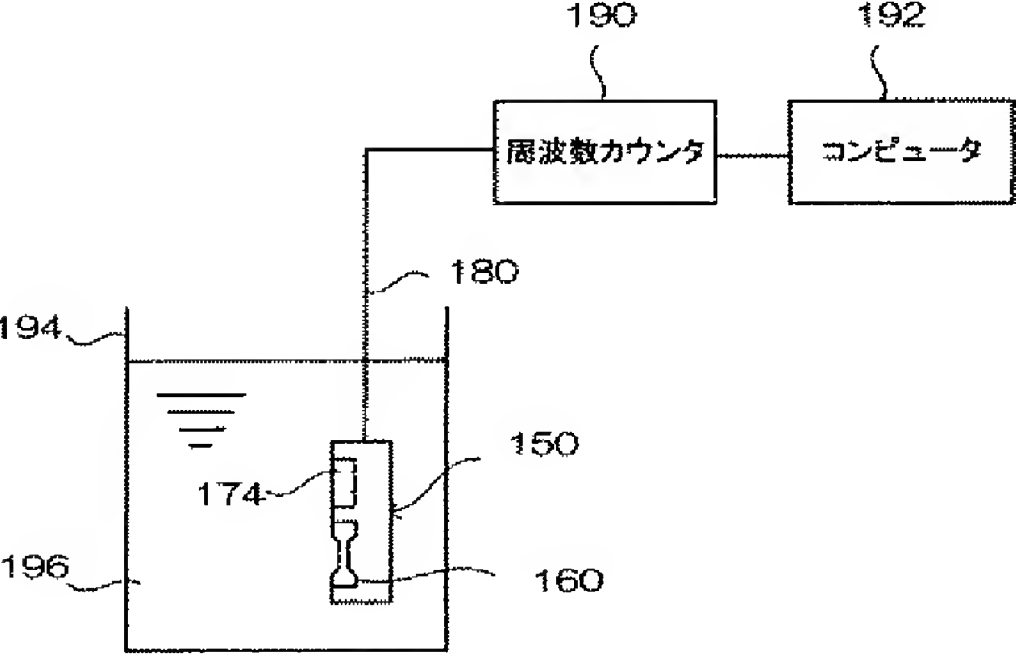




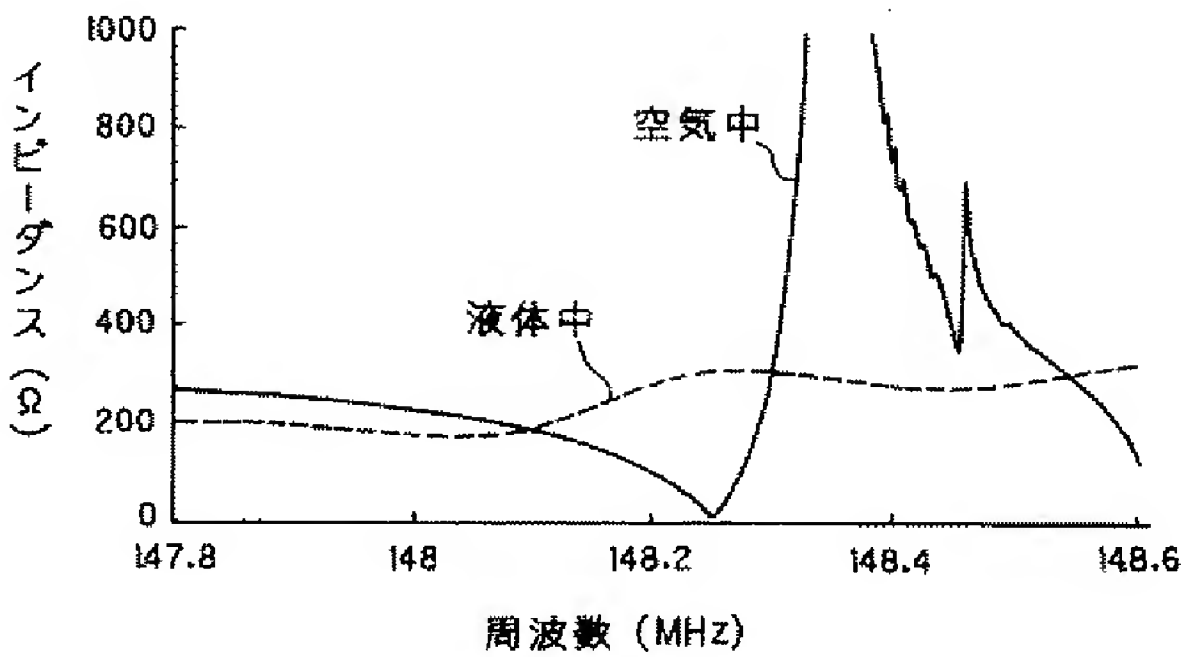
【図18】



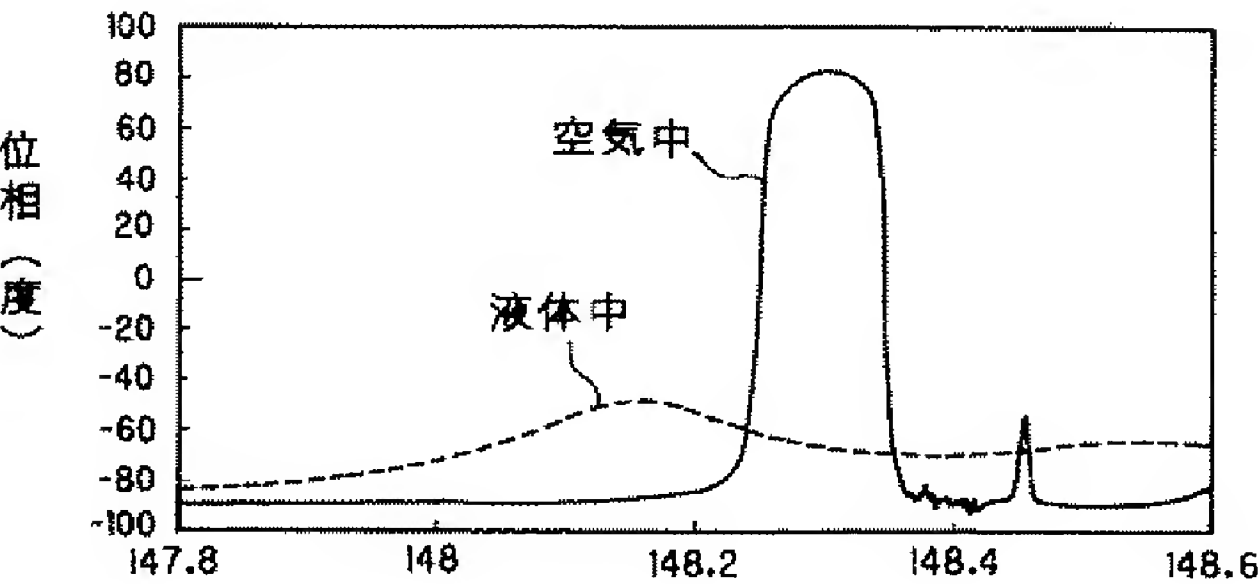
【図19】



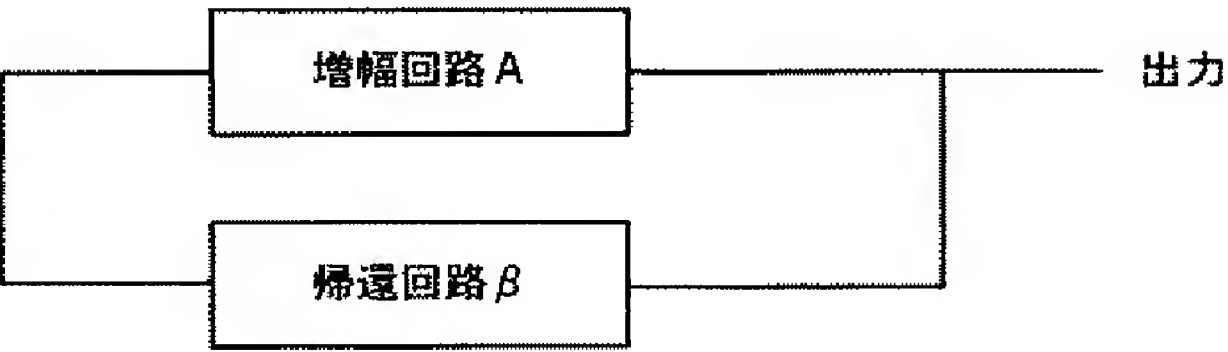
【図20】



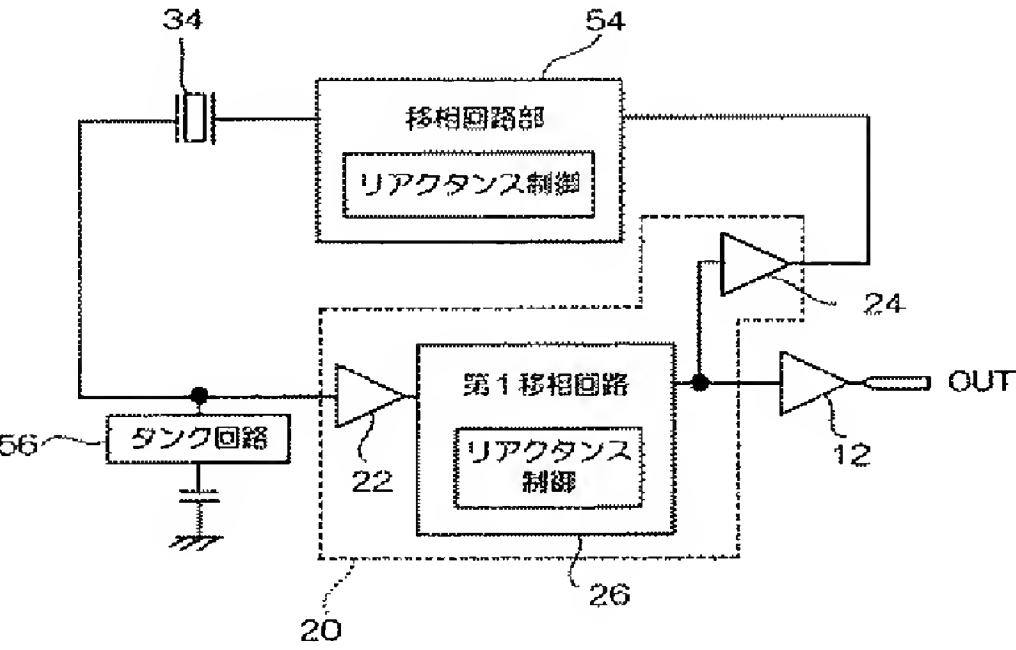
【図21】



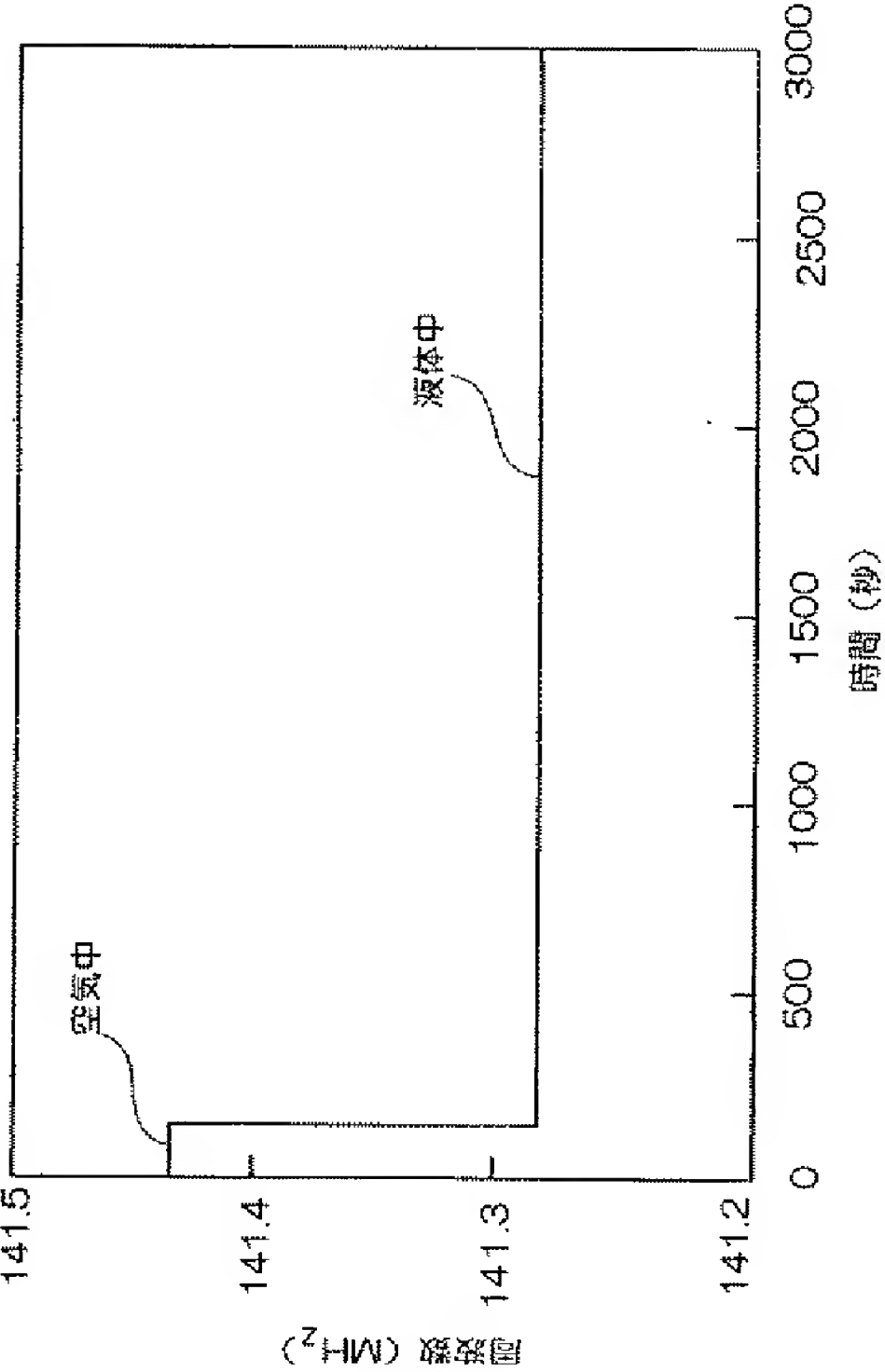
【図22】



【図23】

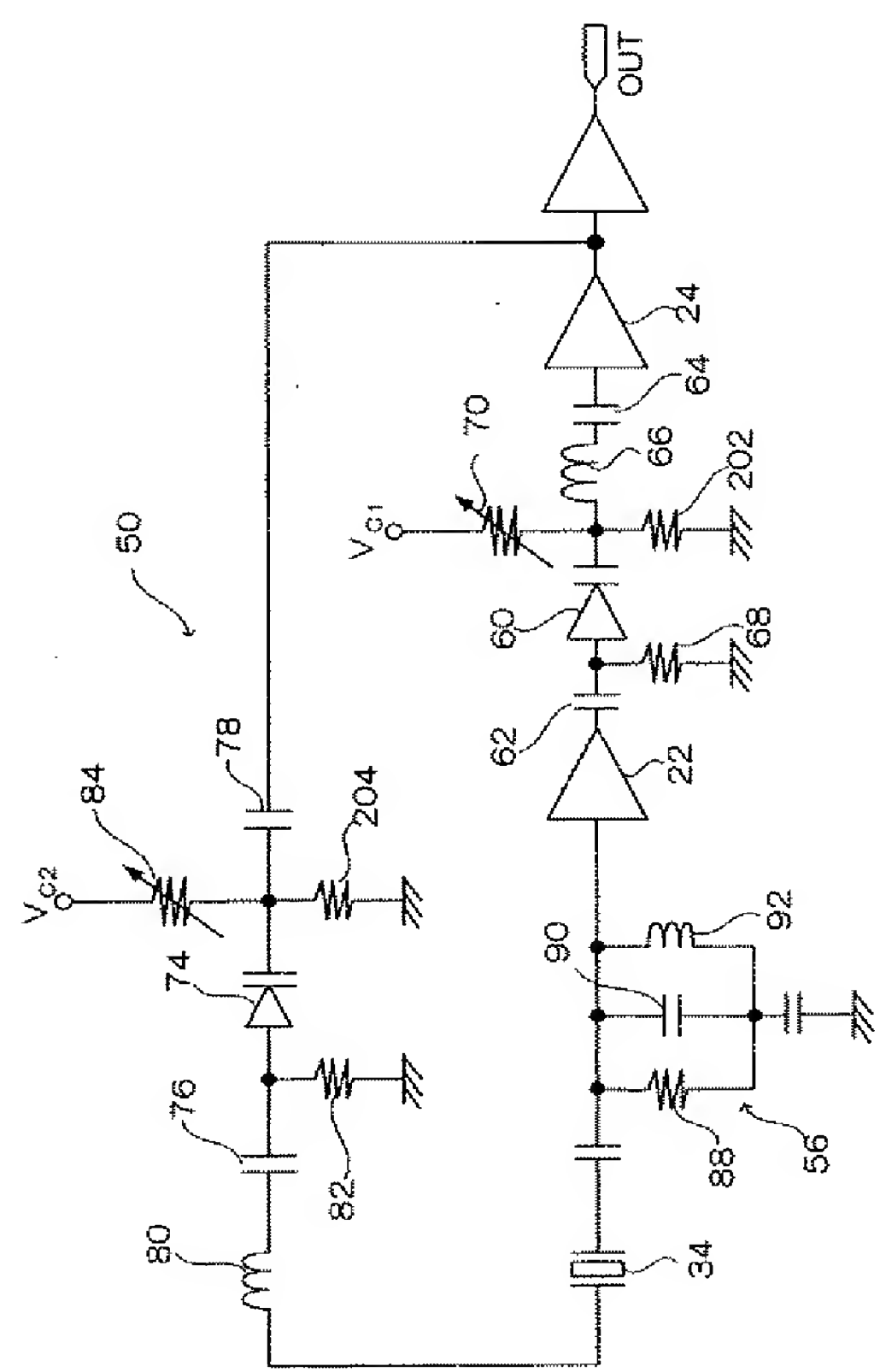


【図24】





【図25】





(51) Int. Cl. <sup>7</sup>		F I		テーマコード (参考)	
H 0 3 H	9/02	H 0 3 H	7/20		D
H 0 3 H	9/13	H 0 3 H	7/20		E
		H 0 3 H	7/20		F
		H 0 3 H	9/02		M
		H 0 3 H	9/13		